

МОДЕЛЬ ЛЕП ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АНОМАЛЬНИХ ПЕРЕНАПРУГ

Кузнецов В. Г.¹, Тугай Ю. І.¹, Кучанський В. В.²¹Інститут електродинаміки Національної академії наук України,²Національна енергетична компанія "Укренерго"

Запропоновано цифрову модель ЛЕП для дослідження аномальних перенапруг, зокрема під час здійснення ОАПВ. Наведено опис розроблених моделей дугового короткого замикання та компенсаційного реактора.

Постановка проблеми. За статистичними даними енергосистем серед загальної кількості причин аварійних відключень ЛЕП високої напруги переважну більшість складають однофазні короткі замикання (КЗ) – понад 95%. Частка дугових замикань, при яких автоматичне повторне включення (АПВ) потенційно може бути успішним, оцінюється до 80% від загального числа КЗ. На особливу увагу заслуговує однофазне АПВ (ОАПВ), яке сприяє підвищенню надійності та ефективності роботи системи в цілому, оскільки в безструмову паузу зберігається передача до 50-60% від загальної потужності ЛЕП.

Але здійснення ОАПВ може супроводжуватися аномальними перенапругами. Аномальні перенапруги виникають внаслідок утворення електричного кола з розподіленими ємностями ліній і індуктивністю шунтувального реактора (ШР) [2-4]. При реальних довжинах повітряних ліній (ПЛ) резонансні властивості лінії з ШР виявляються не в нормальному симетричному режимі роботи, а в аномальних, наприклад, при неповнофазному живленні ПЛ [4]. Оскільки, за цілком зрозумілими причинами проведення натурних експериментів на ЛЕП високої напруги є небажаним заходом, то можна вважати актуальною розробку адекватної цифрової моделі ПЛ, яка дозволить досліджувати перенапруги в аномальних режимах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показали останні дослідження [1-5], найбільш сприятливі умови виникнення аномальних перенапруг спостерігаються при комутаціях ПЛ з приєднаними ШР, коли ступінь компенсації зарядної потужності ПЛ близький до одиниці. Складність і серйозність проблеми полягає в тому, що при проектуванні ЛЕП кількість ШР підбирається саме на таку компенсацію зарядної потужності.

В літературі зустрічаються описи математичних моделей [3-5] для аналізу перехідних процесів під час ОАПВ. Але ці моделі описують процеси з певними спрощеннями та припущеннями, а деякі явища, зокрема відкрита дуга змінного струму, залишаються взагалі поза увагою дослідників. Тому розробка нової більш досконалої моделі для дослідження процесів при ОАПВ є актуальною теоретичною та практичною задачею.

Мета статті. Запропоновано комплексну модель для дослідження аномальних перенапруг при здійсненні ОАПВ на ЛЕП, яка дозволяє отримати необхідні дані для налаштування пристроїв релейного захисту (РЗ) та автоматики, і, тим самим, запобігти розвитку системних аварій та підвищити надійність електропостачання.

Основні матеріали дослідження. Комплексна модель (рис. 1) для дослідження процесів при ОАПВ, на відміну від попередніх, містить моделі відкритої дуги змінного струму під час КЗ на ПЛ та компенсаційних реакторів (КР) в нейтралях груп ШР. Це дає можливість досліджувати умови гасіння дуги і виникнення повторної дуги змінного струму, а також визначати оптимальні значення індуктивностей КР.

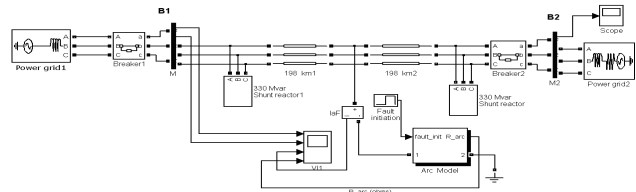


Рисунок 1 - Модель однофазного КЗ

Додаткова перевага розробленої моделі в тому, що вона адекватно відтворює процес живлення аномальної схеми мережі завдяки використанню раніше розробленої моделі блоку електростанції. При дослідженні перехідних процесів таке представлення є більш точним, ніж загальноприйнята модель трифазної симетричної синусоїдальної ЕРС. Якщо ЛЕП об'єднує станцію і енергосистему, то станція моделюється за допомогою вказаного блоку, а система - еквівалентом мережі. Якщо ЛЕП об'єднує дві енергосистеми, еквіваленти мережі характеризуються потужністю короткого замикання (КЗ) при базовому значенні напруги.

Компенсація надлишку реактивної потужності здійснюється за допомогою ШР, встановлених по кінцях ПЛ. В моделі прийнято, що однофазне КЗ на землю відбувається за точками підключення ШР до лінії, а для того, щоб можна було досліджувати наслідки КЗ в будь-якому місці ЛЕП, вона моделюється двома секціями. Пауза ОАПВ у запропонованій моделі обчислюється залежно від параметрів конкретної ЛЕП. Впродовж цієї паузи вимикачі залишаються розімкненими.

Процес виконання ОАПВ моделюється наступним чином. На протязі трьох періодів після виникнення КЗ пристрої РЗ визначають місце КЗ і подають команду на відключення вимикачів пошкодженої фази. В наступний період вимикачі відключають КЗ. Вимикачі повторно замикають контакти в розрахований момент часу після безструмової паузи ОАПВ (впродовж якої дуга КЗ має згаснути).

Найбільш складним нелінійним і швидкозмінним елементом моделі ПЛ, при дослідженні режимів

ОАПВ, є відкрита електрична дуга змінного струму. Запропонована модель (рис. 2) не є універсальною: вона не призначена для адекватного відтворення складних нелінійних динамічних фізичних процесів в самій електричній дузі, і тому вона не може бути використана для безпосереднього їх вивчення. Вона тільки описує характерні особливості дугового КЗ на землю з заданими константами часу, які визначені на основі статистичного аналізу перебігу цих процесів в реальних електричних мережах. Це дозволило уникнути використання в моделі дуги складних диференціальних виразів та рівнянь часткових похідних другого порядку, що містять чотири або більше розрахункових параметрів та не мають аналітичних розв'язків. В той же час розроблена модель здатна відтворювати повторну дугу і повторні пробіи дугового проміжку, на відміну від запропонованих раніше більш простих моделей [3,5].

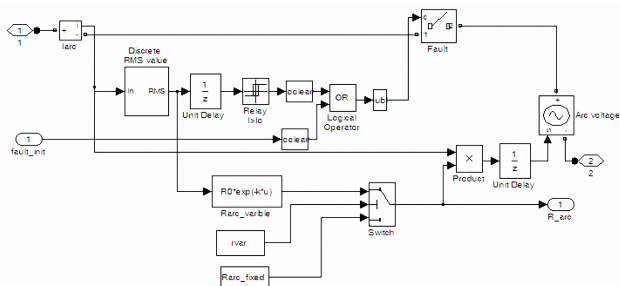


Рисунок 2 - Модель електричної дуги при КЗ

В моделі опір дуги є змінною величиною, оскільки відомо, що опір електричної дуги залежить від діючого значення струму підживлення: середнє значення опору є експоненціальною функцією від значення струму. Опір дуги зростає зі зменшенням струму підживлення.

Дуга згасає, коли струм стає меншим певної граничної величини, яка обчислюється в блоці моделі дуги. Таким чином можна визначити час необхідний для зменшення струму дуги нижчим за граничну величину, тобто величину безструмової паузи ОАПВ.

Модель компенсаційного реактора. При плануванні використання ОАПВ на ЛЕП для компенсації електростатичного зв'язку між пошкодженою та робочими фазами в нейтраль групи ШР може бути встановлено додатковий КР, - так звана чотирипроменева схема підключення реакторів. Ця схема еквівалентна введенню індуктивностей між фазами лінії. Даний захід застосовується перш за все для зменшення усталеного струму підживлення дуги та значення напруги, що відновлюється. Тим самим при чотирипроменевої схемі вдається зменшити безструмову паузу ОАПВ, і тим самим підвищити надійність роботи системи в цілому. Але, як було відзначено вище, під час ОАПВ можливі аномальні перенапруги, викликані резонансними процесами. Підбором відповідного значення реактансу КР можна розладнати резонансні кола, що виникають, та запобігти відповідним перенапругам. Моделювання КР та ШР здійснюється послідовними індуктивно-активними колами. Активний опір враховано для більш детального моделювання КР та ШР.

Висновки. Ефективне застосування такого важливого заходу по підвищенню надійності роботи електричних мереж високої напруги як ОАПВ, вимагає ретельного аналізу процесів для запобігання аномальним перенапругам. Дослідження в сучасних умовах доцільно виконувати за допомогою моделювання на ЕОМ. З цією метою авторами розроблена цифрова модель, що буде корисною як в проектуванні для оцінки можливості появи аномальних перенапруг при побудові нових або модернізації існуючих ЛЕП, так і при виборі безпечних режимів в процесі їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Высоковольтные ВЛ. Коммутации и воздействия на выключатели / Евдокунин Г., Дмитриев М., Гольдштейн С., Иваницкий Ю. // Новости электротехники. - 2008. - 3(51). - С. 64–69.
2. Кадомская К. П. Высоковольтные ВЛ. Эффективность и управляемость шунтирующих реакторов. / К. П. Кадомская // Новости электротехники, - 2008. - 3(51). - С. 70-71.
3. Гавриков В. И. Математическое моделирование открытой дуги переменного тока / Гавриков В. И., Гамилко В. А., Евдокунин Г. А. // Энергетика. - 1984. - №8. - С.14-17.
4. Беляков Н. Н. Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений / Беляков Н. Н., Кадомская К. П., Левинштейн М. Л. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 256с.
5. Tavares M. C. Transmission System Parameters Optimization-Sensitivity Analysis of Secondary Arc Current and Recovery Voltage / M. C. Tavares, M. P. Carlos // IEEE Transactions on Power Delivery. - 2004. - Vol. 19, No. 3. - P.1464-1471.

Аннотация

МОДЕЛЬ ЛЭП ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Кузнецов В. Г., Тугай Ю. И., Кучанский В. В.

Предложена цифровая модель ЛЭП для исследования аномальных перенапряжений, в частности при осуществлении ОАПВ. Приведено описание разработанных моделей дугового короткого замыкания и компенсационного реактора.

Abstract

MODEL OF TRANSMISSION LINE FOR RESEARCH OF ABNORMAL OVERVOLTAGE

V. Kuznetsov, Y. Tugay, V. Kuchanskiy

The digital model of a transmission line for the research of abnormal overvoltage (in particular during the single phase reclosing) is offered. The description of the developed models for arc short circuit and compensatory reactor is given.