

КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОЇ ОПЕРАТИВНОЇ РЕКОНФІГУРАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Ковальчук Т.В., студ., Кацадзе Т.Л., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Одна з основних вимог, яку висувають до схем розподільчих електричних мереж є висока надійність та безперебійність електропостачання споживачів в нормальних, ремонтних та післяаварійних режимах електричних систем. Надійність електропостачання забезпечують секціонуванням складних електричних мереж резервуванням живлення споживачів. Для таких електричних мереж розглядають оптимізаційну задачу вибору місць розмикання контурів з метою ліквідації шляхів для протікання зрівнювальних електричних струмів та мінімізації втрат активної потужності. Для організації економічних режимів розподільчих електричних мереж обслуговуючий персонал один або декілька разів на рік розробляє нормальну схему експлуатації з чітко встановленими точками розмикання контурів та умовами роботи пристроїв захисту та автоматики [1]. Відомо, що мінімум втрат активної потужності в електричній мережі обумовлюється розмиканням найменш завантажених ділянок замкненого контуру, суміжного з точкою струмоподілу в нормальному усталеному режимі [2, 3].

Під час експлуатації розподільчої електричної мережі відбуваються стохастичні процеси зміни потужностей навантажень трансформаторних підстанцій, що обумовлює зміну режимних параметрів електричної системи, у тому числі – сумарних втрат активної потужності. Тут слід розглядати динамічну задачу оптимальної реконфігурації робочої схеми мережі, яку слід розв'язувати в режимі реального часу.

Мета роботи полягає в розробці дієвих математичних моделей критеріїв оптимальної реконфігурації робочої схеми розподільчої електричної мережі, які можна застосовувати в режимі реального часу.

Матеріали досліджень. Розглянемо лінію з двобічним живленням, представлену на рис. 1.

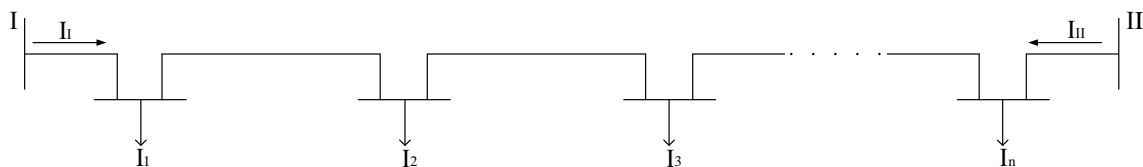


Рисунок 1 – Лінія з двобічним живленням

Відомо, що струм головної ділянки лінії з двобічним живленням визначають за виразом:

$$\dot{I}_I = \frac{\dot{U}_I - \dot{U}_{II}}{Z_{I-II}} + \frac{\sum \dot{J}_i Z_{i-II}}{Z_{I-II}} = \dot{I}_{I-II} + \frac{\sum \dot{J}_i Z_{i-II}}{Z_{I-II}}, \quad (1)$$

де U_I, U_{II} – вектори напруги на шинах джерел живлення; Z_{I-II} – сумарний опір лінії з двобічним живленням; I_{I-II} – зрівнювальний струм, обумовлений розбігом

векторів напруги на початку та наприкінці лінії з двобічним живленням; Z_{i-II} – сумарний опір ділянок між i -м пунктом та протилежним джерелом живлення; J_i – струм навантаження i -го пункту схеми.

Точка струморозділу в лінії з двобічним живленням визначається переходом через нуль величини

$$I_i - \sum_{i=1}^N J_i < 0 \quad (2)$$

де $N-1$ – індекс пункту точки струморозділу.

Аналіз виразів (1) та (2) свідчить про те, що положення точки струморозділу визначається навантаженнями в пунктах схеми, опорами ділянок лінії з двобічним живленням і різницею напруг джерел живлення та не є фіксованою протягом періоду експлуатації лінії.

Можна показати, що у разі збігу напруг джерел живлення (наприклад, для кільцевої схеми), точка струморозділу є суміжною з ділянкою, до якої належить електричний центр навантаження, а сама ділянка є найменш завантаженою, тобто підлягає вимкненню під час розмикання контурів. Для однорідної лінії, яка живить однорідних споживачів координату електричного навантаження визначають за виразом

$$l_x = \frac{\sum_{i=1}^N P_i l_{0i}}{\sum_{i=1}^N l_i}, \quad (3)$$

де N – загальна кількість ділянок лінії; l_i – довжина i -ї ділянки; P_i – активна потужність навантаження пункту наприкінці i -ї ділянки; l_{0i} – відстань від початку лінії до кінця i -ї ділянки.

У разі, якщо напруги джерел живлення не збігаються, зрівнювальний струм лінії з двобічним живленням обумовлює зсув положення точки з двобічним живленням. Такий зсув визначається переходом через нуль величини

$$I_{I-II} - \sum_{i=N}^M J_i < 0, \quad (4)$$

де J_i – струм навантаження наприкінці i -ї ділянки; N – індекс ділянки, до якої належить електричний центр навантаження; M – індекс ділянки навантаження наприкінці якої обумовлює перехід через 0 виразу (4). Саме цю ділянку вимикати під час розмикання контурів.

Таким чином, запропонований метод оперативної реконфігурації робочої схеми розподільчої електричної мережі полягає у виконанні наступних процедур:

- 1) на підставі даних оперативного моніторингу споживання електричної енергії за виразом (3) визначають ділянку схеми, до якої належить електричний центр навантажень;
- 2) визначають величину зрівнювального струму лінії з двобічним живленням та за виразом (4) визначають зсув положення точки струморозподілу відносно електричного центру навантажень;

3) у разі, якщо ділянка, намічена до розмикання не відповідає поточному положенню розімкненої резервної перемички, здійснюють оперативну реконфігурацію робочої схеми розподільної мережі.

Зазначимо, що запропонований метод оперативної реконфігурації робочої схеми є централізованим, оскільки передбачає моніторинг навантажень всіх трансформаторних підстанцій розподільної мережі та вимірювання напруги всіх джерел живлення.

Можна запропонувати інший підхід до оперативної реконфігурації робочої схеми розподільної електричної мережі. Втрати активної потужності в розподільній мережі будуть меншими у разі, якщо профіль напруги в пунктах схеми буде найвищим серед всіх можливих способів секціонування робочої схеми.

Розглянемо фрагмент схеми лінії з двобічним живленням, представлений на рис. 2.

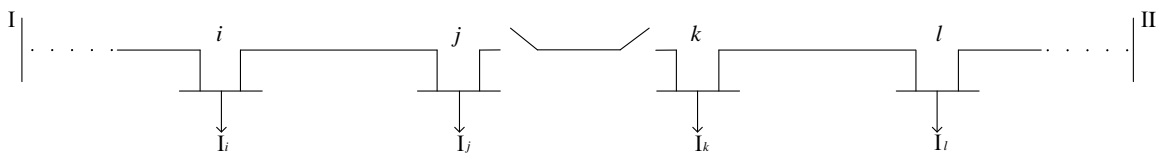


Рисунок 2 – Фрагмент секціонованої лінії з двобічним живленням

Нехай, відповідно до поточного способу секціонування лінії з двобічним живленням, споживачі ТП i та j отримують живлення від джерела I , а ТП k та l – від джерела II . Реконфігурація робочої схеми, що полягає в переведенні живлення споживачів j -ї ТП до джерела II , очевидно, призводить до збільшення профілю напруги з боку джерела I і, одночасно, до зменшення профілю з боку джерела II . Реконфігурація схеми буде доцільною у тому разі, коли збільшення профілю з боку джерела I буде більшим, ніж його зменшення з боку джерела II . Розглянемо даний підхід детальніше.

Можна показати, що оптимальне положення вимкненої ділянки лінії з двобічним живленням характеризується найменшою можливою різницею напруг пунктів, які обмежують дану ділянку.

$$\dot{U}_j - \dot{U}_k = \min.$$

Переведення живлення j -ї ТП на джерело II супроводжується збільшенням напруги на шинах i -ї ТП відповідно до виразу закону Ома

$$\dot{U}'_i = \dot{U}_i + \dot{J}_j \underline{Z}_{I-j},$$

де U_i – напруга на шинах i -ї ТП у вихідній схемі (до здійснення оперативних перемикачів); J_j – струм навантаження j -ї ТП; Z_{I-j} – сумарний опір ділянок лінії між джерелом I та j -ю ТП.

Напруга на шинах j -ї ТП після здійснення оперативних перемикачів становитиме

$$\dot{U}'_j = \dot{U}_k - \dot{J}_j \underline{Z}_{II-j},$$

де U_k – напруга на шинах k -ї ТП у вихідній схемі; Z_{II-j} – сумарний опір ділянок лінії між джерелом II та j -м пунктом.

Різниця напруг пунктів, які обмежують вимкнену ділянку після здійснення перемикань становитиме

$$\dot{U}'_i - \dot{U}'_j = (\dot{U}_i + \dot{J}_j \underline{Z}_{I-j}) - (\dot{U}_k - \dot{J}_j \underline{Z}_{II-j}) = \dot{U}_i - \dot{U}_k + \dot{J}_j \underline{Z}_{I-II}.$$

Оперативні перемикання будуть доцільними у тому разі, коли задовольнятиметься умова:

$$\dot{U}'_i - \dot{U}'_j < \dot{U}_j - \dot{U}_k,$$

$$\dot{U}_i - \dot{U}_k + \dot{J}_j \underline{Z}_{I-II} < \dot{U}_j - \dot{U}_k$$

або

$$\dot{U}_j - \dot{U}_i < \dot{J}_j \underline{Z}_{I-II}. \quad (5)$$

Аналогічний критерій можна сформуувати для обґрунтування переведення живлення споживачів k -ї ТП до живлення від джерела l :

$$\dot{U}_k - \dot{U}_l < \dot{J}_k \underline{Z}_{I-II}. \quad (6)$$

Таким чином, оперативна реконфігурація робочої схеми розподільчої електричної мережі полягає у постійній перевірці виконання умов (5) та (6) на підставі даних моніторингу струмів навантаження ТП, які обмежують вимкнену ділянку лінії з двобічним живленням, а також режиму напруги в цих пунктах та суміжних. У разі виконання цих умов здійснюють оперативне перемикання конфігурації робочої схеми.

Наведений метод оперативної реконфігурації робочої схеми розподільчої електричної мережі є локальним, оскільки передбачає моніторинг режимних параметрів на шинах ТП, які обмежують вимкнену ділянку на суміжних з ними ТП.

Проведені розрахункові експерименти з моделювання усталених режимів тестових схем розподільчих електричних мереж з двобічним живленням показали дієвість розроблених методів оптимальної оперативної реконфігурації, направлених на максимальне зниження втрат активної потужності в електричній системі.

Висновки. Розроблено централізований та локальний критерії оптимальної реконфігурації робочої схеми розподільчої електричної мережі, які на підставі даних моніторингу режимних параметрів електричної системи визначають доцільність виконання оперативних перемикань, направлених на зниження втрат активної потужності в електричній мережі.

Перелік посилань

1. Методические принципы определения оптимальных мест размыкания распределительных электрических сетей с учетом питающей сети 110 кВ и выше / М. И. Фурсанов, А. А. Золотой, В. В. Макаревич, А. Н. Муха. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2008. – №6. – С. 23–32.
2. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 365 с.
3. Определение оптимальных мест размыкания в распределительных сетях 6-10 кВ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://dmcc.com.ua/projekt/opentie/>.