

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК

Рудченко Ю. А. – к. т. н., доцент,  
Рудченко Г. А. – к. э. н., доцент,  
Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь

Энергетическая эффективность работы современного электротехнического оборудования, в том числе и силовых распределительных трансформаторов, зависит не только от его правильного выбора на этапе проектирования электроустановки [1], но и от организации оптимального режима работы в процессе эксплуатации [2].

Для силовых распределительных трансформаторов основная доля эксплуатационных издержек определяется их суммарными потерями электрической энергии. Потери электрической энергии в трансформаторах, как известно [3], состоят из потерь холостого хода и нагрузочных потерь. Если первый вид потерь определяется только техническими характеристиками трансформаторов и временем их работы, то второй существенно зависит от режима работы трансформаторных подстанций потребителей электрической энергии.

На подстанциях промышленных предприятий с двумя и более трансформаторами в зависимости от суммарной нагрузки экономически целесообразно иметь в работе такое число трансформаторов, при котором КПД каждого из них приближается к максимальному значению. Оптимальное число включенных трансформаторов – это такое количество трансформаторов, при котором обеспечиваются минимальные потери активной мощности для определенной нагрузки подстанции.

Для однотипных трансформаторов, т. е. трансформаторов с одинаковыми паспортными данными (номинальной мощностью, потерями короткого замыкания, холостого хода и т. п.) зависимость суммарных потерь активной мощности от числа работающих трансформаторов описывается следующим выражением:

$$\Delta P(n) = n \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{КЗ} \cdot \frac{S_{\Sigma}^2}{S_{НОМ}^2}, \quad (1)$$

где  $S_{\Sigma}$  – полная нагрузка подстанции, кВ·А;  $S_{НОМ}$  – номинальная мощность одного трансформатора, кВ·А;  $n$  – число работающих трансформаторов;  $\Delta P_{XX}$  – активные потери холостого хода, кВт;  $\Delta P_{КЗ}$  – активные потери короткого замыкания, кВт.

Для того, чтобы определить число трансформаторов, при котором потери активной мощности будут минимальными, следует найти производную функции  $\Delta P(n)$  по  $n$ :

$$\Delta P'(n) = \Delta P_{XX} - \frac{1}{n^2} \cdot \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_{\Sigma}^2}{S_{НОМ}^2}. \quad (2)$$

Приравнявая  $\Delta P'(n)$  к нулю, находим экстремум функции – оптимальное число трансформаторов:

$$n_{ОПТ} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{K3}}{\Delta P_{XX}}}. \quad (3)$$

При прохождении значений  $n$  через точку экстремума  $n_{ОПТ}$  функция  $\Delta P'(n)$  меняет знак с минуса на плюс, следовательно, экстремум  $n_{ОПТ}$  является минимумом функции  $\Delta P(n)$ .

Рассчитанное значение  $n_{ОПТ}$  следует округлять до ближайшего большего или меньшего целого числа, при котором потери мощности в трансформаторах будут меньше.

На подстанциях промышленных предприятий число одновременно включенных в работу трансформаторов одинаковой конструкции и мощности определяется следующими условиями. При возрастании нагрузки к  $n$  работающим трансформаторам целесообразно подключить еще один трансформатор, если суммарные потери активной мощности после увеличения числа трансформаторов будут меньше, чем при  $n$  работающих трансформаторах:

$$\Delta P_{\Sigma(n)} > \Delta P_{\Sigma(n+1)}, \quad (4)$$

$$n \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_{\Sigma}^2}{S_{НОМ}^2} > (n+1) \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n+1} \cdot \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_{\Sigma}^2}{S_{НОМ}^2}, \quad (5)$$

где  $\Delta P_{\Sigma(n)}$  – суммарные потери активной мощности  $n$  работающих трансформаторов;  $\Delta P_{\Sigma(n+1)}$  – суммарные потери активной мощности  $n+1$  работающих трансформаторов;

Проведя ряд преобразований выражения (5), получим условие целесообразности включения трансформатора в работу дополнительно к уже работающим трансформаторам в следующем виде:

$$S_{\Sigma} > S_{НОМ} \cdot \sqrt{n \cdot (n+1) \cdot \frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}. \quad (6)$$

При

$$S_{\Sigma} = S_{НОМ} \cdot \sqrt{n \cdot (n+1) \cdot \frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}} \quad (7)$$

суммарные потери активной мощности после увеличения числа работающих трансформаторов будут равны, потерям мощности в трансформаторах

до увеличения их числа. Увеличивать число работающих трансформаторов в этом случае не нужно.

При снижении нагрузки, наоборот, целесообразно отключить один из трансформаторов, если

$$S_{\Sigma} < S_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P_{\text{XX}}}{\Delta P_{\text{КЗ}}}}. \quad (8)$$

При

$$S_{\Sigma} = S_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P_{\text{XX}}}{\Delta P_{\text{КЗ}}}} \quad (9)$$

суммарные потери активной мощности после уменьшения числа работающих трансформаторов будут равны, потерям мощности в трансформаторах до уменьшения их числа.

Таким образом, если нагрузка подстанции изменяется в диапазоне

$$S_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P_{\text{XX}}}{\Delta P_{\text{КЗ}}}} < S_{\Sigma} < S_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{n \cdot (n + 1) \cdot \frac{\Delta P_{\text{XX}}}{\Delta P_{\text{КЗ}}}}, \quad (10)$$

то изменять число работающих трансформаторов не требуется.

#### Список литературы

1. Рудченко, Ю. А. Методика технико-экономического обоснования выбора силового распределительного трансформатора / Ю. А. Рудченко [и др.] // Экономика, бизнес, финансы. – 2020. – № 7. – С. 13–18.
2. Федоров, О. В. Некоторые особенности структуры систем внутрицехового электроснабжения / О. В. Федоров // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – № 3. – С. 30–33.
3. Быстрицкий, Г. Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. – М.: Академия, 2003. – 176 с.