

## СНИЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЗА СЧЁТ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ РЕЖИМА РАБОТЫ

**Рудченко Ю.А.**

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение», ГГТУ им. П.О. Сухого (Гомель, Беларусь)*

**Рудченко Г.А.**

*к.э.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», ГГТУ им. П.О. Сухого (Гомель, Беларусь)*

**Аннотация.** В статье рассматриваются общие принципы оптимизации работы силовых распределительных трансформаторов для снижения эксплуатационных издержек потребителей электрической энергии.

**Abstract.** The article discusses the general principles of optimizing the operation of power distribution transformers to reduce the operating costs of consumers of electrical energy.

**Ключевые слова:** Энергоэффективность, оптимизация режима работы, силовые распределительные трансформаторы, эксплуатационные издержки, потери электрической энергии.

**Key words:** Energy efficiency, operating mode optimization, power distribution transformers, operating costs, electrical energy losses.

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 число 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 и холостого хода и т.п.) зависимость суммарных потерь активной мощности от числа работающих трансформаторов описывается следующим выражением:

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

где  $S_{\Sigma}$  – полная нагрузка подстанции, кВА;  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность одного трансформатора, кВА;  $n$  – число работающих трансформаторов;  $\Delta P_{\text{ХХ}}$  – активные потери холостого хода, кВт;  $\Delta P_{\text{КЗ}}$  – активные потери КЗ, кВт.

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

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

Приравниваем  $\Delta P'(n)$  к нулю и находим экстремум функции (оптимальное число трансформаторов)

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

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

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

На подстанции промышленных предприятий число одновременно включенных в работу трансформаторов одинаковой конструкции и мощности определяется следующими условиями.

При возрастании нагрузки  $k$   $n$  работающим трансформаторам целесообразно подключить еще один трансформатор, если суммарные потери активной мощности после увеличения числа трансформаторов будут меньше, чем при  $n$  работающих трансформаторах

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

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

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 несложных преобразований выражения (5), окончательно запишем условие целесообразности включения трансформатора в работу дополнительно к уже работающим трансформаторам, в следующем виде

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

При

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

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

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

При

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

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

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

то изменять число работающих трансформаторов не требуется.

Если установленные на подстанции трансформаторы не однотипны или различны по мощности, то определение режима работы трансформаторов следует вести по кривым приведенных потерь. Кривые приведенных потерь строятся на основании следующих формул:

для одного трансформатора

$$\Delta P = \Delta P_{XX} + \Delta P_{КЗ} \cdot \frac{S_{\Sigma}^2}{S_{НОМ}^2}, \quad (11)$$

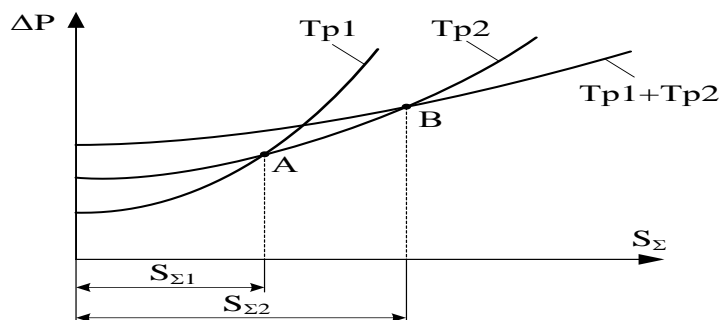
для двух разных трансформаторов

$$\Delta P = \Delta P_{XX1} + \Delta P_{КЗ1} \cdot \frac{S_1^2}{S_{НОМ1}^2} + \Delta P_{XX2} + \Delta P_{КЗ2} \cdot \frac{S_2^2}{S_{НОМ2}^2}, \quad (12)$$

где  $S_1, S_2$  – нагрузка первого и второго трансформаторов, кВА;  $S_{НОМ1}, S_{НОМ2}$  – номинальная мощность первого и второго трансформаторов, кВА;  $\Delta P_{XX1}, \Delta P_{XX2}$  – активные потери холостого хода первого и второго трансформаторов, кВт;  $\Delta P_{КЗ1}, \Delta P_{КЗ2}$  – активные потери короткого замыкания первого и второго трансформаторов, кВт.

Если нагрузка трансформаторов распределена между ними пропорционально их номинальным мощностям, то ее можно определить следующим образом:

$$S_1 = \frac{S_{НОМ1}}{S_{НОМ1} + S_{НОМ2}} \cdot S_{\Sigma}, \quad S_2 = \frac{S_{НОМ2}}{S_{НОМ1} + S_{НОМ2}} \cdot S_{\Sigma}. \quad (13)$$



**Рисунок – Кривые приведенных потерь трансформаторов:**  $T_{p1}$  – для первого трансформатора;  $T_{p2}$  – для второго трансформатора;  $T_{p1}+T_{p2}$  – для двух одновременно работающих трансформаторов.

Из рисунка видно, что в целях уменьшения потерь при работе подстанции с небольшой суммарной нагрузкой  $S_{\Sigma} < S_{\Sigma1}$  целесообразно включить трансформатор  $T_{p1}$ , при увеличении нагрузки подстанции  $S_{\Sigma} > S_{\Sigma1}$  (в точке A) выгодно включить в работу второй трансформатор ( $T_{p2}$ ) вместо первого ( $T_{p1}$ ), а при  $S_{\Sigma} > S_{\Sigma2}$  (в точке B) следует включить в работу оба трансформатора  $T_{p1}$  и  $T_{p2}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

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.