

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Г. И. Янукович,

профессор каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, профессор

Н.Г. Королевич,

заведующая каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

В статье приведена методика расчета потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах разной мощности.

Ключевые слова: электроэнергия, электрические сети, параллельно работающие трансформаторы, напряжение, мощность.

The calculation technique of the electric power losses in parallel working transformers of different capacity is considered in the article.

Keywords: electric power, electric networks, parallel working transformers, voltage, and power.

Введение

В электрических сетях бывает необходимость включать трансформаторы на параллельную работу, то есть обмотки трансформаторов соединяют параллельно, как на первичной, так и на вторичной стороне. В целях правильного распределения нагрузки между ними параллельная работа двухобмоточных трансформаторов допускается:

- 1) при равенстве номинальных первичных и вторичных напряжений трансформаторов;
- 2) при тождественности групп соединения обмоток;
- 3) при равенстве напряжений короткого замыкания (допускается отклонение не более чем на $\pm 10\%$ от средней величины).

Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей параллельно работающих трансформаторов не превышало 3:1 [1].

Основная часть

Потери активной мощности в «п» параллельно работающих трансформаторах одинаковой мощности определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + n \cdot \Delta P_X; \quad (1)$$

реактивной

$$\Delta Q_T = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} + n \cdot \frac{I_X}{100} S_{\text{НОМ}}, \quad (2)$$

где S – суммарная максимальная нагрузка подстанции, кВ·А;

$S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность одного трансформатора, кВ·А;

n – число параллельно работающих трансформаторов;

U_K – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

I_X – ток холостого хода трансформатора, %.

Потери энергии в нескольких (n) параллельно включенных трансформаторах одинаковой мощности определяются по следующим выражениям:

активной

$$\Delta W_T = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau + n \cdot \Delta P_X \cdot t; \quad (3)$$

реактивной

$$\Delta V_T = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \tau + n \cdot \frac{I_X}{100} S_{\text{НОМ}}, \quad (4)$$

где τ – время максимальных потерь, ч (определяется по графику в зависимости от времени использования максимума нагрузки [2]);

t – время включения трансформатора (при круглосуточном включении $t = 8760$ ч.).

Потери активной мощности в двух параллельно работающих трансформаторах разной мощности определяется по формуле:

$$\Delta P_H = 3I^2 \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \right), \quad (5)$$

где I – ток нагрузки, кА;

r_1, r_2 – активные сопротивления соответственно первого и второго трансформатора, Ом.

Активные сопротивления обмоток трансформаторов определяются по каталожным данным трансформаторов:

$$r_1 = \frac{\Delta P_{K1}}{3I_{\text{НОМ}1}^2}; \quad (6)$$

$$r_2 = \frac{\Delta P_{K2}}{3I_{\text{НОМ}2}^2}, \quad (7)$$

где $\Delta P_{K1}, \Delta P_{K2}$ – потери короткого замыкания соответственно первого и второго трансформатора, кВт;

$I_{\text{НОМ}1}, I_{\text{НОМ}2}$ – номинальные токи соответственно первого и второго трансформатора, кА.

Номинальные токи трансформаторов определяются по следующим формулам:

$$I_{\text{НОМ1}} = \frac{S_{\text{НОМ1}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}; \quad (8)$$

$$I_{\text{НОМ2}} = \frac{S_{\text{НОМ2}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}, \quad (9)$$

где $S_{\text{НОМ1}}$, $S_{\text{НОМ2}}$ – номинальные мощности соответственно первого и второго трансформатора, кВ·А;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Активные потери мощности в стали трансформаторов

$$\Delta P_c = \Delta P_{x1} + \Delta P_{x2}, \quad (10)$$

где ΔP_{x1} , ΔP_{x2} – активные потери холостого хода соответственно первого и второго трансформатора (принимаются по паспортным данным), кВт.

Потери активной энергии в двух параллельно работающих трансформаторах разной мощности [3]:

$$\Delta W_T = \Delta P_H \cdot \tau + \Delta P_c \cdot 8760. \quad (11)$$

Реактивные потери мощности в двух параллельно работающих трансформаторах разной мощности определяются по формуле [3]:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_x + \Delta Q_H, \quad (12)$$

где ΔQ_x – реактивные потери мощности холостого тока в трансформаторах, вызванные намагничиванием трансформатора;

ΔQ_H – нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторах, вызванные рассеиванием магнитного потока.

Реактивные потери мощности холостого тока

$$\Delta Q_x = \frac{I_{x1}S_{\text{НОМ1}} + I_{x2}S_{\text{НОМ2}}}{100}, \quad (13)$$

где I_{x1} , I_{x2} – ток холостого хода соответственно первого и второго трансформатора, %.

Нагрузочные потери реактивной мощности

$$Q_H = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} x_T, \quad (14)$$

где S – нагрузка трансформаторов, кВ·А;
 x_T – индуктивное сопротивление обмоток трансформаторов, приведенное к напряжению $U_{\text{НОМ}}$, Ом.

Для двух трансформаторов

$$x_T = \frac{x_{T1} \cdot x_{T2}}{x_{T1} + x_{T2}}. \quad (15)$$

Индуктивное сопротивление обмоток первого трансформатора

$$x_{T1} = \frac{U_{k1}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ1}}}. \quad (16)$$

Индуктивное сопротивление обмоток второго трансформатора

$$x_{T2} = \frac{U_{k2}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ2}}}. \quad (17)$$

После подстановки выражений (17) и (16) в формулу (15) и соответствующих преобразований, получим:

$$x_T = \frac{U_{k1} \cdot U_{k2}}{100(U_{k1}S_{\text{НОМ2}} + U_{k2}S_{\text{НОМ1}})} U_{\text{НОМ}}^2, \quad (18)$$

где U_{k1} , U_{k2} – напряжения короткого замыкания соответственно первого и второго трансформатора, %.

С учетом выражения (14) нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторах будут равны:

$$Q_H = \frac{U_{k1} \cdot U_{k2}}{100(U_{k1}S_{\text{НОМ2}} + U_{k2}S_{\text{НОМ1}})} S^2. \quad (19)$$

Суммарные потери реактивной энергии в трансформаторах складываются из потерь холостого хода ΔV_x и потерь, вызванных током нагрузки ΔV_x :

$$\Delta V_T = \Delta V_x + \Delta V_H. \quad (20)$$

Потери реактивной энергии холостого хода

$$\Delta V_x = \Delta Q_x \cdot 8760. \quad (21)$$

Потери реактивной энергии, вызванные током нагрузки

$$\Delta V_H = \Delta Q_H \cdot \tau. \quad (22)$$

Заключение

В статье приведены выражения для расчета потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах одинаковой мощности. В электрических сетях часто встречаются случаи, когда необходимо включать на параллельную работу трансформаторы разной мощности. Выражений для определения потерь электроэнергии в таких трансформаторах нет. Поэтому в статье приведена методика расчета потерь электроэнергии в параллельно работающих трансформаторах разной мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пос. / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.
2. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства: учеб. пос. / Г.И. Янукович. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 640 с.
3. Королевич, Н.Г. Технико-экономическое обоснование инженерных решений в электроснабжении объектов АПК. Дипломное проектирование / Н.Г. Королевич, Г.И. Янукович. – Минск: БГАТУ, 2017. – 84 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017