

УДК 621.314

## ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гороховик И. В

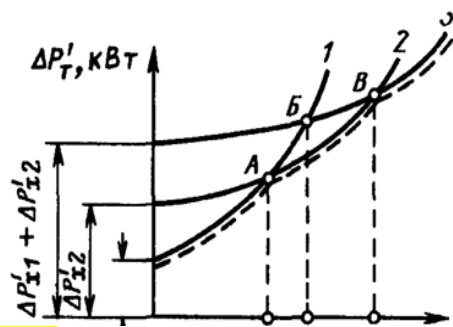
Научный руководитель – д.т.н. Анищенко В.А.

При проектировании и в условиях эксплуатации предусматривают экономически целесообразный режим работы трансформаторов, сущность которого состоит в следующем. При наличии на подстанции нескольких трансформаторов, могущих работать на общие шины, число включенных трансформаторов определяется условием минимума потерь мощности в этих трансформаторах при работе их по заданному графику нагрузки. При этом учитывают не только потери активной мощности в самих трансформаторах, но и потери активной мощности, возникающие в системе электроснабжения по всей цепочки питания от генераторов электростанций до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления трансформаторами реактивной мощности. Эти потери называют приведенными в отличие от потерь в самих трансформаторах, определяемых по выражению:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P'_K, \quad (1)$$

где  $\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{н.п.} \cdot \Delta Q_x$  - приведенные потери XX трансформатора, учитывающие потери активной мощности как в самом трансформаторе, так и создаваемые им в элементах всей системы электроснабжения зависимости от реактивной мощности, потребляемой трансформатором;  $\Delta P'_K = \Delta P_K + K_{н.п.} \cdot \Delta Q_K$  - приведенные потери КЗ.

Кривые приведенных потерь мощности трансформаторов в зависимости от изменения нагрузки  $S_{нг}$  показаны на рис. 1.



**Рис. 3.** Зависимость приведенных потерь активной мощности  $\Delta P'_T$  в силовых трансформаторах от изменения нагрузки  $S_{нг}$ : 1 и 2 - кривые потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при раздельной работе; 3 - кривая суммарных потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при параллельной работе;  $\Delta P'_{x1}, \Delta P'_{x2}$  приведенные потери XX в трансформаторах 1 и 2

Выражение (1) можно представить в иной форме:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + \frac{\Delta P'_K}{S_{ном.т.}^2} \cdot S_{нг}^2$$

Для упрощения дальнейшей записи обозначим:

$$\Delta P'_x = a \text{ и } \frac{\Delta P'_K}{S_{ном.т.}^2} = b,$$

тогда  $\Delta P'_T = a + b \cdot S_{нг}^2$ .

Это уравнение параболы, и поэтому на рис.1 точки пересечения А, Б и В, соответствующие нагрузкам  $S_1, S_2, S_3$  лежащие каждая одновременно на двух параболах (например, точка А) имеют координаты, удовлетворяющие совместно решению уравнений  $\Delta P'_{T1} = a_1 + b_1 \cdot S_{нг}^2$  и  $\Delta P'_{T2} = a_2 + b_2 \cdot S_{нг}^2$ . В общем случае это может быть любая пара подобных кривых, причем каждая соответствует определенному количеству параллельно включенных трансформаторов.

Для точки А справедливо равенство  $\Delta P'_{T1A} = \Delta P'_{T2A}$ , т.е.

$$a_1 + b_1 \cdot S_{нг.А}^2 = a_2 + b_2 \cdot S_{нг.А}^2, \text{ откуда}$$

$$S_{нг.А} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}}$$

или, что равносильно,

$$S_{нг.А} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}} \quad (2)$$

Из (2) для трансформаторов одинаковой мощности получаем

$$S_{нг.А} = S_{номт} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}$$

Точку А и соответствующую ей нагрузку  $S_{нг.А}$  определяют графическим и аналитическим способами аналитический способами. Аналитический способ является более удобным, так как обычно в расчетах интересуются только точками А, Б и В и соответствующими им нагрузками  $S_1, S_2, S_3$ .

Выражением (2) пользуются для установления экономически целесообразного режим работы двух параллельно работающих трансформаторов, а также для решения вопроса об экономической целесообразности присоединения к группе трансформаторов дополнительно ещё одного трансформатора[1].

### На двухтрансформаторной подстанции установлены трансформаторы разной номинальной мощности

Условно примем, что номинальная мощность первого трансформатора Т1 меньше мощности второго Т2.

На рис.2 показаны зависимости потерь активной мощности трансформаторе меньшей номинальной мощности  $\Delta P_{T1}$ , большей номинальной мощности  $\Delta P_{T2}$  и суммарные потери в двух трансформаторах  $\Delta P_{\Sigma}$  от нагрузки потребителей  $S_{нг}$ . Точка пересечения графиков  $S_{гр1}$  соответствует значению граничной мощности нагрузки, при которой потери мощности в Т1 равны потери мощности в Т2. Точка пересечения графиков  $S_{гр2}$  соответствует значению граничной мощности нагрузки, при которой потери мощности в Т2 равны суммарная потерям мощности в Т1 и Т2. Следовательно, значение ограниченной мощности  $S_{гр1}$

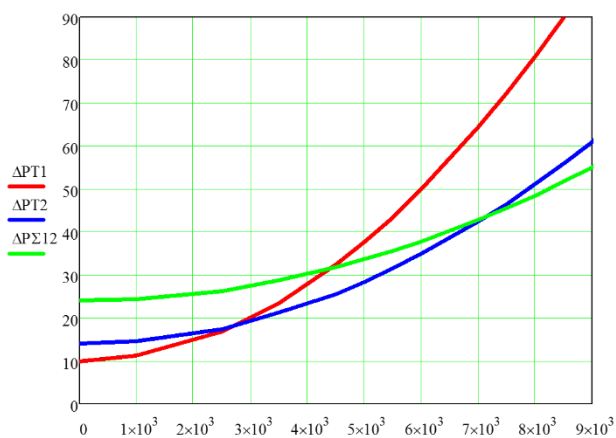


Рис. 4 График потерь активной мощности в трансформаторах различной номинальной мощности.

определяют наиболее выгодного с точки зрения потерь мощности перехода от режима работы трансформатором меньшей мощности к трансформатору большей мощности, и наоборот. Значение граничной мощности  $S_{гр2}$  определяет точку наиболее выгодного перехода от режима работы трансформатором большей мощности к работе двумя параллельными трансформаторами, и наоборот.

Значение граничной мощности  $S_{гр3}$  не имеет качественной оценки для определения экономических режимов работы двухтрансформаторной подстанции, значение мощности находится выше кривой минимальных потерь мощности. Мощность  $S_{гр3}$  определяет точку наиболее выгодного перехода от режим работы двумя трансформаторами к работе одним трансформатором меньшей мощности, и наоборот.

Потери мощности в трансформаторе меньшей номинальной мощности:

$$\Delta P'_{T1} = \Delta P'_{x1} + \frac{\Delta P'_{k1}}{S_{номт1}^2} \cdot S_{нг1}^2$$

Потери мощности в трансформаторе большей номинальной мощности:

$$\Delta P'_{T2} = \Delta P'_{x2} + \frac{\Delta P'_{k2}}{S_{номт2}^2} \cdot S_{нг2}^2$$

При параллельной работе трансформаторов минимум потерь мощности соответствует распределению нагрузки пропорционально установленной мощности трансформаторов:

$$\frac{S_{нг1}}{S_{номт1}} = \frac{S_{нг2}}{S_{номт2}}$$

где  $S_{нг1}$  и  $S_{нг2}$  - мощность нагрузки первого и второго трансформаторов соответственно.

Суммарная мощность потерь при работе двух трансформаторов:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P'_{x1} + \Delta P'_{x2} + \frac{\Delta P'_{к1}}{S_{номт1}^2} \cdot S_{нг}^2 + \frac{\Delta P'_{к2}}{S_{номт2}^2} \cdot S_{нг}^2$$

Значения граничных мощностей нагрузки:

$$S_{гр.1} = \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{x2} - \Delta P'_{x1})}{S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}}$$

$$S_{гр.2} = \left(1 + \frac{S_{номт1}}{S_{номт2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт2}^4 \cdot \Delta P'_{x1}}{(S_{номт1} + S_{номт2})^2 \cdot \Delta P'_{к2} - S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2})}}$$

$$S_{гр.3} = \left(1 + \frac{S_{номт1}}{S_{номт2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{x2}}{(S_{номт1} + S_{номт2})^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot (\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2})}}$$

Экономичный режим работы двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами разной номинальной мощности определяется минимальными потерями в трансформаторах на всем диапазоне нагрузок. Потери мощности описывается кривой минимальных потерь  $\Delta P_{x1} \rightarrow S_{нг.1} \rightarrow S_{нг.2} \rightarrow \Delta P_{\Sigma 12}$  на графике (рис.2).

**На трехтрансформаторной подстанции установлены трансформаторы разной номинальной мощности**

Значения граничных мощностей нагрузки:

$$S_{гр.1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{x2} - \Delta P'_{x1})}{S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}}$$

$$S_{гр.2 \rightarrow 3} = \sqrt{\frac{S_{номт2}^2 \cdot S_{номт3}^2 \cdot (\Delta P'_{x3} - \Delta P'_{x2})}{S_{номт3}^2 \cdot \Delta P'_{к2} - S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к3}}}$$

$$S_{гр.3 \rightarrow [2+3]} = \left(1 + \frac{S_{номт2}}{S_{номт3}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт3}^4 \cdot \Delta P'_{x2}}{(S_{номт2} + S_{номт3})^2 \cdot \Delta P'_{к3} - S_{номт3}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}}$$

$$S_{гр.[2+3] \rightarrow [1+2+3]} = \sqrt{\frac{(\Delta P'_{x1} + \Delta P'_{x2} + \Delta P'_{x3}) - (\Delta P'_{x2} + \Delta P'_{x3})}{(\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})} \cdot \frac{(\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}{(S_{номт2} + S_{номт3})^2 - (S_{номт1} + S_{номт2} + S_{номт3})^2}}$$

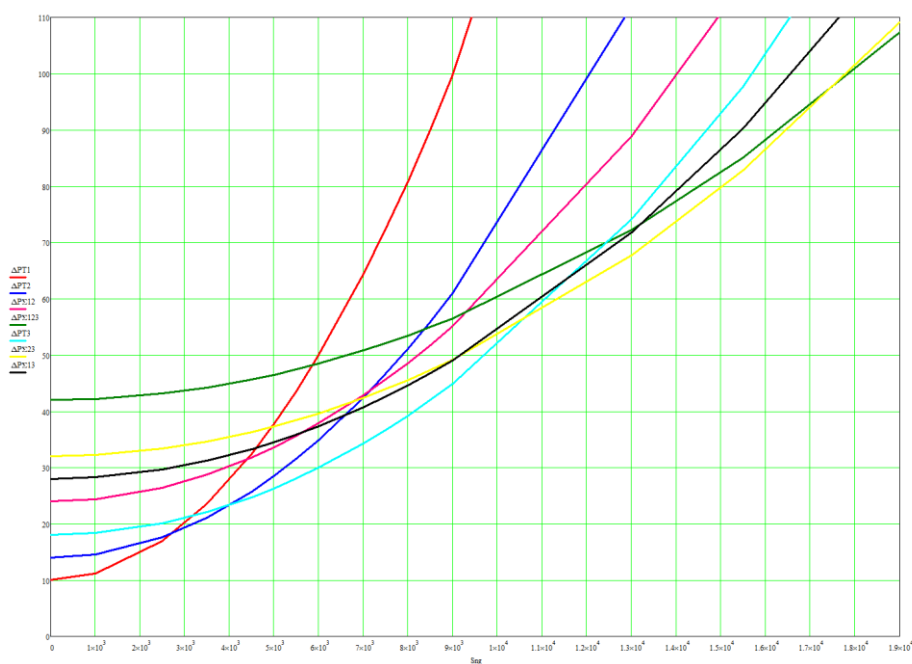


Рис. 3 График потерь активной мощности в трансформаторах различной номинальной мощности.

Экономичный режим работы трехтрансформаторной подстанции с трансформаторами разной номинальной мощности определяется минимальными потерями в трансформаторах на всем диапазоне нагрузок. Потери мощности описывается кривой минимальных потерь  $\Delta P_{x1} \rightarrow S_{нг.1} \rightarrow S_{нг.2} \rightarrow S_{нг.3} \rightarrow S_{нг.23} \rightarrow \Delta P_{\Sigma 123}$  на графике (рис.3).

#### Литература:

- 1.Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: /Под общ. ред. А.А. Федорова.
- Т.2. Электрооборудование– Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с., [37-38] ил.