

О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В.Н.Радкевич, *к.т.н., доцент кафедры “Электроснабжение” БНТУ*

А.Л.Трушников, *инженер ЗАО “Петротех”*

Вопрос оптимизации работы систем электро-снабжения (СЭС) в целом и её отдельных элементов всегда оставался актуальным. Потери активной энергии в элементах СЭС в конечном итоге компенсируются выработкой дополнительной электрической энергии на электростанциях и, как следствие, приводят к непроизводительному расходу природных ресурсов. В связи с этим при оптимизации работы силовых трансформаторов используются критерии эффективности, учитывающие потери активной энергии.

В [1] рассмотрены и критически проанализированы некоторые критерии оптимизации работы силовых трансформаторов. Не подвергая сомнению полезность опубликованной работы, отметим, что отдельные её положения, на наш взгляд, нуждаются в некотором уточнении.

В [2] расчёты, касающиеся оптимизации работы силовых трансформаторов, базируются на упрощённой формуле годовых приведённых затрат, не учитывающей отчисления на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание. С учётом всех нормированных отчислений от капиталовложений приведённые затраты определяются по выражению

$$Z = p_T K + (\Delta P_x + \Delta P_k K_3^2) T_f C_n, \quad (1)$$

где p_T — отчисления от капитальных затрат (сумма отчислений на рефинансирование, амортизацию, текущий ремонт и обслуживание);

K — капитальные затраты;

ΔP_x — потери в стали трансформатора;

ΔP_k — потери в обмотках трансформатора при номинальной нагрузке;

K_3 — коэффициент загрузки трансформатора;

T_f — число часов работы трансформатора в течение года;

C_n — стоимость 1 кВт·ч потерь электроэнергии.

Формула (1) справедлива при определении коэффициента загрузки трансформатора по средне-квадратической полной мощности нагрузки $S_{ок}$ за рассматриваемый период

$$K_3 = \frac{S_{ок}}{S_{ном}}, \quad (2)$$

где $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора.

В [1] отмечается, что приведенное в [2] выражение для расчёта коэффициента загрузки трансформатора, соответствующего минимуму годовых затрат, математически не корректно. Исследование же функции (1) на минимум приводит к выводу: наименьшие приведённые затраты имеют место при отсутствии нагрузки трансформатора, вызывающей потери электроэнергии в его обмотках. Отсюда автор статьи приходит к заключению: для обеспечения минимума функции (1) необходимо уменьшать параметр трансформатора ΔP_x .

Однако работа трансформатора без нагрузки, т.е. на холостом ходу, является наиболее неэкономичным режимом, хотя и соответствует минимуму приведённых затрат. Повлиять же на параметр ΔP_x в условиях эксплуатации практически невозможно. Следовательно, как отмечено в [1], указанные в [2, 3] критерии минимума стоимости трансформации выведены из других предпосылок, которые рассмотрены ниже.

Годовые приведённые затраты используются при технико-экономическом сравнении нескольких возможных вариантов технических решений. Формула (1) имеет ограниченную пригодность для оценки эффективности функционирования единичных объектов, так как её минимизация в условиях эксплуатации возможна лишь путём сокращения годовых эксплуатационных расходов. В частности, для силового трансформатора это достигается сведением к нулю стоимости нагрузочных потерь электроэнергии, что может иметь место при отключении нагрузки потребителя.

Для выбора оптимального решения в таких случаях в качестве целевой функции следует использовать удельные приведённые затраты, которые определяются по формуле

$$z_y = \frac{Z}{S}, \quad (3)$$

где S — полная мощность нагрузки трансформатора.

Подставив (1) в (3) и выполнив соответствующие математические операции по минимизации функции (3), можно определить мощность нагрузки трансформатора S_0 , соответствующую минимуму удельных приведённых затрат:

$$S_0 = S_{ном} \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_k} + \frac{p_T K}{\Delta P_k T_f C_n}}. \quad (4)$$

Коэффициент загрузки трансформатора, при котором удельные приведённые затраты будут минимальными, определяется по выражению

$$K_{з\text{опт}} = \frac{S_0}{S_{\text{ном}}} \quad (5)$$

С учётом (4) выражение (5) примет вид

$$K_{з\text{опт}} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_k} + \frac{p_T K}{\Delta P_k T_p C_p}} \quad (6)$$

Полученная формула (6) отличается от приведенной в [2] наличием ΔP_k в знаменателе второй составляющей подкоренной суммы.

Таким образом в [2] допущена ошибка в выражении $K_{з\text{опт}}$. Кроме того, коэффициент $K_{з\text{опт}}$ определяется как соответствующий минимуму полных приведённых затрат, а не удельных. Всё это не позволяет применять его в качестве критерия оптимальности [1].

Что касается коэффициента загрузки силового трансформатора, соответствующего минимуму стоимости трансформации, приведенного в [3], то формулу для его расчёта следует признать математически корректной. Вывод её также осуществляется из условия минимума удельных приведённых затрат с учётом определения нагрузочных потерь электроэнергии в обмотках трансформатора на наибольшей нагрузке и времени максимальных потерь.

В условиях эксплуатации СЭС обычно контролируется нагрузка трансформаторов, а не коэффициент загрузки. При этом минимизируются потери активной мощности, электроэнергии или приведённые затраты. При работе нескольких трансформаторов разных типоразмеров на общую нагрузку возникает вопрос, в каком диапазоне нагрузка каждого трансформатора соответствует принятому критерию оптимальности. Если в качестве целевой функции использовать минимум потерь электроэнергии в трансформаторе, то граничное среднеквадратическое значение мощности нагрузки трансформатора, при которой потери будут одинаковыми при использовании сравниваемых типоразмеров, определяется по формуле

$$S_{12} = S_{\text{ном1}} S_{\text{ном2}} \sqrt{\frac{\Delta P_{x2} - \Delta P_{x1}}{\Delta P_{k1} S_{\text{ном2}}^2 - \Delta P_{k2} S_{\text{ном1}}^2}} \quad (7)$$

где $S_{\text{ном1}}$ и $S_{\text{ном2}}$ — номинальные мощности трансформаторов типоразмеров 1 и 2;

ΔP_{x1} и ΔP_{x2} — потери холостого хода трансформаторов 1 и 2;

ΔP_{k1} и ΔP_{k2} — потери короткого замыкания трансформаторов 1 и 2.

В том случае, когда число часов работы трансформатора с нагрузкой T_p меньше числа часов включения T_B , в рассматриваемом периоде

$$S_{12} = S_{\text{ном1}} S_{\text{ном2}} \sqrt{\frac{(\Delta P_{x2} - \Delta P_{x1}) T_B}{(\Delta P_{k1} S_{\text{ном2}}^2 - \Delta P_{k2} S_{\text{ном1}}^2) T_p}} \quad (8)$$

При минимизации годовых приведённых затрат

$$S_{12} = S_{\text{ном1}} S_{\text{ном2}} \sqrt{\frac{p_T (K_2 - K_1) - C_p T_B (\Delta P_{x1} - \Delta P_{x2})}{C_p T_p (\Delta P_{k1} S_{\text{ном2}}^2 - \Delta P_{k2} S_{\text{ном1}}^2)}} \quad (9)$$

где K_1 и K_2 — капитальные затраты при использовании трансформаторов 1 и 2.

Если $S > S_{12}$, то целесообразно применять трансформатор мощностью $S_{\text{ном2}}$, при $S < S_{12}$ — мощностью $S_{\text{ном1}}$.

С помощью выражений (7)–(9) можно определить зоны экономного применения силовых трансформаторов, а также нагрузки, при которых целесообразна замена установленного трансформатора на трансформатор большей или меньшей мощности с целью повышения эффективности использования энергоресурсов в СЭС.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные в [2, 3] формулы для определения оптимальных коэффициентов загрузки силовых трансформаторов получены на основе минимизации удельных годовых приведённых затрат.
2. В формуле для расчёта коэффициента загрузки трансформатора, соответствующего минимуму удельных приведённых затрат, в [2] допущена ошибка, не позволяющая использовать её для практических расчётов.
3. Предложены выражения (7)–(9) для определения зон экономного применения силовых трансформаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончар А.А. О критериях оптимизации работы силового трансформатора // Энергия и менеджмент.— 2004.— №2.
2. Анчарова Т.В., Гамазин С.И., Шевченко В.В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях.— М.: Высшая школа, 1990.
3. Фурсанов М.И. Методология и практика определения и анализа потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.14.01.— Мн.: БНТУ, 2002.