

УДК 621.311

**УЛУЧШЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С
ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЕХНИКО ЭКОНОМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ****IMPROVEMENT OF THE OPERATING MODES OF ELECTRIC
NETWORKS FROM THE POINT OF VIEW OF INCREASING THEIR
TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS**

С.Н. Лычковский

Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

kolosova@bntu.by

S. Lychkowski

Supervisor – I. Kolosova, Senior Lecturer

Belarussian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье дано понятие о потерях мощности, причинах их возникновения, а также способах их уменьшения.*

***Abstract:** this article gives the concept of power losses, their causes, as well as ways to reduce them.*

***Ключевые слова:** потери мощности и электроэнергии, трансформатор, электрическая сеть, компенсация реактивной мощности, напряжение.*

***Keywords:** power and electricity losses, transformer, electrical network, reactive power compensation, voltage.*

Введение

Потери мощности и электрической энергии являются основным технико-экономическим показателем работы электрических сетей. Различают технический (проектный) и организационный пути снижения потерь мощности и электроэнергии.

Технический путь предполагает уменьшение потерь электроэнергии за счет дополнительных капитальных затрат (установка дополнительного оборудования, прокладка дополнительных линий и т.п.). К техническому пути относятся такие меры снижения потерь мощности, как: повышение номинального напряжения линий электропередачи и электрической сети; компенсация реактивной мощности; установка дополнительных устройств для регулировки; установка устройств предназначенных для принудительного распределения мощностей в неоднородных замкнутых сетях; замена сечений проводов воздушных линий распределительных сетей с целью оптимизации; использование теплоты, отбираемой от трансформаторов подстанцией; применение накопителей энергии др.

Организационный путь связан с оптимизацией режимов существующей сети в условиях эксплуатации, не требует дополнительных капитальных затрат (повышение уровня рабочего напряжения в разомкнутых распределительных сетях; оптимизация режимов напряжений и реактивных мощностей в системообразующей сети; управление потоками мощности в неоднородных

замкнутых сетях; выравнивание нагрузок фаз трехфазной сети; оптимизация режимов работы трансформаторов на подстанциях; управление электропотреблением и др.)

Основная часть

Рассмотрим лишь некоторые меры снижения потерь мощности в электрических сетях: оптимизация коэффициентов трансформации трансформаторов связи и автотрансформаторов; компенсация реактивной мощности оптимизация числа работающих трансформаторов на подстанциях электрических сетей; размыкание замкнутых сетей в оптимальных точках.

Электрическим сетям современных энергосистем свойственна высокая степень неоднородности, причем с течением времени она возрастает. Причина этого - быстрый рост протяженности линий электропередачи сверхвысокого напряжения 330 - 750 кВ, которые с помощью автотрансформаторов связываются на параллельную работу со сложнзамкнутыми сетями более низких напряжений.

Для оптимизации числа работающих трансформаторов на подстанциях электрических сетей исследуются суммарные потери активной мощности в трансформаторах подстанций, которые можно рассчитать по выражению:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{xi} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{ki} \left(\frac{S_i}{S_{ni}} \right)^2, \quad (1)$$

где ΔP_{Σ} - суммарные потери активной мощности в трансформаторах;

ΔP_{xi} ΔP_{ki} - соответственно, потери холостого хода и короткого замыкания в i -ом трансформаторе;

S_i - мощность, протекающая через i -ый трансформатор;

S_{ni} - номинальная мощность i -го трансформатора.

Воспользовавшись данным выражением, можно построить зависимости суммарных потерь мощности в трансформаторах от нагрузки при разном числе включенных трансформаторов на подстанции. На рис.1 показан характер таких зависимостей при числе включенных трансформаторов один, два, три. По оси абсцисс отображены нагрузки подстанции, а по оси ординат – потери активной мощности в трансформаторах. Линия 1 соответствует работе одного трансформатора, линия 2 - двух, и линия 3 – трех трансформаторов.

Как видно из рисунка, существуют граничные значения мощностей, при которых целесообразно изменять число включенных трансформаторов. Точка a – точка пересечения линий 1 и 2 дает нагрузку S_A , при которой потери мощности в одном и двух включенных трансформаторах одинаковы. Так при мощности нагрузки большей S_B целесообразно включать три трансформатора, при мощности нагрузки от S_A до S_B – два, при мощности нагрузки меньшей S_A – один.

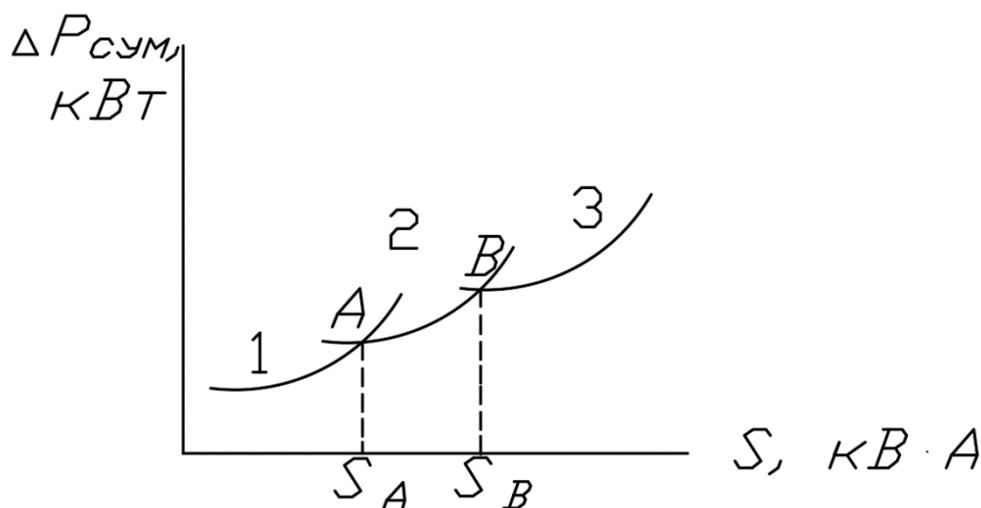


Рисунок 1. Зависимость потерь активной мощности от нагрузки и числа включенных трансформаторов

Допустим, что мощности через трансформаторы при естественном потокораспределении пропорциональны их номинальным мощностям, благодаря этому можем получить выражения для расчета граничного значения мощности суммарной нагрузки через трансформаторы S_T , при которой целесообразно переходить от n работающих трансформаторов к $n-1$.

При разных значениях номинальных мощностей трансформаторов на подстанции, выражение для расчета S_2 примет вид:

$$S_2 = \sqrt{\frac{\Delta P_{xn} \cdot S_{H\Sigma(n-1)}^2 \cdot S_{H\Sigma n}^2}{[\Delta P_{k1} + \dots + \Delta P_{k(n-1)}] \cdot S_{H\Sigma n}^2 - [\Delta P_{k1} + \dots + \Delta P_{kn}] \cdot S_{H\Sigma(n-1)}^2}}, \quad (2)$$

где ΔP_{xn} - потери холостого хода в трансформаторе n ;

$S_{H\Sigma(n-1)}^2$ - сумма номинальных мощностей $n-1$ трансформаторов;

$S_{H\Sigma n}^2$ - сумма номинальных мощностей n трансформаторов;

ΔP_{k1} и т.д. - потери короткого замыкания в трансформаторах 1, 2 и т.д.

Если на подстанции установлены трансформаторы одинаковой номинальной мощности, то выражение приобретает следующий вид:

$$S_2 = S_H \sqrt{\frac{n(n-1) \cdot \Delta P_x}{\Delta P_k}}, \quad (3)$$

где, ΔP_x , ΔP_k - номинальная мощность, потери холостого хода и короткого замыкания одного трансформатора, соответственно.

Для уменьшения потерь активной мощности на подстанциях электрических сетей используется компенсация реактивной мощности.

Как известно, компенсирующие устройства (синхронные компенсаторы, статические конденсаторы, статические компенсаторы и др.) устанавливаются в электрических сетях энергосистемы для снижения потерь мощности и энергии.

Одновременно они в комплексе с другими средствами (генераторами, трансформаторами с РПН, вольтодобавочными трансформаторами и др.) позволяют регулировать напряжение.

Рациональность дополнительной установки компенсирующих устройств (КУ) в энергосистеме описывается следующим неравенством:

$$Z_{\text{э}} - Z_{\text{к}} \geq 0, \quad (4)$$

где $Z_{\text{э}}$ - экономия приведенных затрат за счет установки КУ;

$Z_{\text{к}}$ - затраты на компенсацию реактивной мощности, тыс. руб.

Затраты, связанные с установкой КУ,

$$Z_{\text{к}} = (p_{\text{н}} + p)k_{\text{у}}Q_{\text{к}} + \Delta P_{\text{у}}Q_{\text{к}}T_{\text{м.к.}}\beta, \quad (5)$$

где $p_{\text{н}}$ - нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат;

p - отчисления на амортизацию и текущий ремонт КУ, тыс. руб;

$k_{\text{у}}$ - удельные капитальные затраты в КУ, тыс. руб/квар;

$Q_{\text{к}}$ - мощность КУ, квар;

$\Delta P_{\text{у}}$ - удельные потери мощности в КУ;

$T_{\text{м.к.}}$ - число часов работы КУ в году, определяемое графиками нагрузки потребителей и требуемыми режимами напряжений, ч.;

β - стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии, коп.

Затраты можно представить в виде:

$$Z_{\text{к}} = Q_{\text{к}}T_{\text{м.к.}}\beta. \quad (6)$$

Здесь расчетное значение стоимости 1 квар·ч, выдаваемого компенсирующим устройством,

$$\beta_{\text{к}} = \frac{Z_{\text{к}}}{Q_{\text{к}}T_{\text{м.к.}}} = \Delta P_{\text{у}}\beta + \frac{k_{\text{у}}(p_{\text{н}} + p)}{T_{\text{м.к.}}}. \quad (7)$$

При установке КУ за счет снижения потерь активной мощности и энергии, потерь реактивной мощности и повышения качества напряжения получается повысить экономичность.

Экономия на потерях активной мощности и энергии за счет повышения уровней напряжения и снижения потоков реактивной мощности в основных сетях энергосистемы выглядит:

$$Z_{\Delta\text{э}} = (\Delta P_1\tau_{1\text{р}} - \Delta P_2\tau_{2\text{р}})\beta, \quad (8)$$

где ΔP_1 и ΔP_2 - потери активной мощности до и после установки КУ в максимальном режиме, кВт;

$\tau_{1\text{р}}$ и $\tau_{2\text{р}}$ - время потерь от протекания реактивной мощности до и после компенсации, ч.

С некоторым допущением для практических расчетов можно считать, что:

$$З_{\Delta\Xi} = Q_k k_{\Xi}^{cp} \tau_p^{cp} \beta, \quad (9)$$

где τ_p^{cp} - среднее значение времени потерь, ч;

k_{Ξ}^{cp} - среднее значение экономического эквивалента реактивной мощности в узле нагрузки после установки компенсирующего устройства мощностью Q_k .

Для соответствия нормативным требованиям срока окупаемости дополнительных капиталовложений в компенсирующее устройство значение экономического эквивалента реактивной мощности:

$$K_{\Xi}^o = \frac{T_{м.к.}}{\tau_p^{cp}} \cdot \frac{\beta_k}{\beta}. \quad (10)$$

Расчетное значение мощности компенсирующего устройства:

$$Q_{ki} = Q_{ni} \cdot \frac{K_i}{K_{max}} \cdot k_m \quad (11)$$

где Q_{ni} - реактивная нагрузка в i -том узле, квар;

K_i - мощность компенсирующего устройства в i -том узле, квар;

K_{max} - максимальная мощность компенсирующего устройства в рассматриваемых узлах, квар;

k_m - коэффициент, влияющий на точность расчетов. В данном случае нам целесообразно принять его равным 0.3.

Заключение

Проанализировав способы повышения технико-экономических показателей работы электрических сетей можем сделать вывод, что единственного верного способа достижения поставленной задачи не существует, напротив, имеет место комбинирование решений.

Литература

1. Федин В.Т., Прокопенко В.Г. Планирование характерных режимов электрических сетей 110-750 кВ по напряжению и реактивной мощности. – Электрические станции.
2. Компенсация реактивной мощности [электронный ресурс]/ компенсация реактивной мощности: способы и средства. -Режим доступа: <https://www.nucon.ru/reactive-power/reactive-power-and-types-of-compensation.php> – Дата доступа 19.04.2022.