

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В данной статье выполнен анализ методов расчетов потерь электроэнергии. Определены условия применения методов расчета потерь электроэнергии, показаны структурные разделенные потери в электрических сетях. Приведена современная классификация потерь, а также рассмотрены методы расчета технологических потерь электроэнергии.

Ушбу мақолада электрэнергиясининг юқотилиши бўйича ҳисоб-китоб усуллари таҳлил қилиш амалга оширилди. Электрэнергия юқотилишларини ҳисоблаш усуллари қўллаш шартлари аниқланди, электр тармоқларидаги исрофларнинг таркибий қисмларга ажратилиши кўрсатилди. Электрэнергиясининг юқотилишини таснифлаш, шунингдек электрэнергиясининг технологик юқотилишларини ҳисоблаш усуллари қараб чиқилган.

In this article, an analysis of methods for calculating electric power losses is performed. The conditions for using methods for calculating electric energy losses are determined, and structural separated losses in electrical networks are shown. The given classification of losses is given and also methods of calculation of technological losses of the electric power are considered.

Ключевые слова: определение потерь электроэнергии, расчет нагрузочных потерь, схемотехническими методы,

В связи с развитием рыночных отношений значимость проблемы потерь электроэнергии существенно возросла. В этой сфере известны работы таких ученых как Железко.Ю.С, Воротницкий.В.Э, Насыров.Т.Х, Васильев.В.Г, Шарипов.У.Б и др.

На сегодняшний день проблема расчета потерь электроэнергии является актуальной. Актуальность проблемы заключается в решении вопросов, связанных с уменьшением погрешности методов расчета в электрических системах и составлением моделей для их использования в реальных сетях.

Точное определение потерь за интервал времени T возможно при известных параметрах R и ΔP_x и функций времени $I(t)$ и $U(t)$ на всем интервале. Параметры R и ΔP_x обычно известны, и в расчетах их считают постоянными [1]. Но при этом сопротивление проводника зависит от температуры.

Информация о режимных параметрах $I(t)$ и $U(t)$ имеется обычно лишь для дней контрольных замеров. На большинстве подстанций без обслуживающего персонала они регистрируются 3 раза за контрольные сутки. Эта информация является неполной и ограничено достоверной, так как замеры проводятся аппаратурой с определенным классом точности и не одновременно на всех подстанциях.

Обычно в электрических сетях потерь электрэнергий можно разделить на четыре составляющие:

1. *технические потери электроэнергии*, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей.

2. *расход электроэнергии на СН подстанций*, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала. Этот расход регистрируется счетчиками, установленными на трансформаторах СН подстанций;

3. *потери электроэнергии, обусловленные погрешностями ее измерения.* Эти потери получают расчетным путем на основе данных о метрологических характеристиках и режимах работы приборов, используемых для измерения энергии.

4. *коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате электроэнергии бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии.*[5]

Каждая составляющая потерь имеет свою более детальную структуру в том числе и технические потери.

Нагрузочные потери включают в себя в проводах линий передачи, силовых трансформаторах и автотрансформаторах, токоограничивающих реакторах, заградителях высокочастотной связи, трансформаторах тока, соединительных проводах и шинах распределительных устройств (РУ) подстанций.

Потери холостого хода включают в себя постоянные (не зависящие от нагрузки) потери:

в силовых трансформаторах (автотрансформаторах), компенсирующих устройствах (синхронных и тиристорных компенсаторах, батареях конденсаторов и шунтирующих реакторах), оборудовании системы учета электроэнергии (ТТ, ТН, счетчиках и соединительных проводах), вентильных разрядниках и ограничителях перенапряжения, устройствах присоединения высокочастотной связи (ВЧ-связи), изоляции кабелей.

В зависимости от полноты информации о нагрузках элементов сети для расчетов нагрузочных потерь могут использоваться следующие методы:

1. Методы поэлементных расчетов, использующие формулу:

$$\Delta W_n = 3 \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k R_i \cdot \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I_{ij}^2, \quad (1)$$

где k - число элементов сети; I_{ij} - токовая нагрузка i -го элемента сопротивлением R_i в момент времени j ; Δt - периодичность опроса датчиков, фиксирующих токовые нагрузки элементов.

2. Методы учета характерных режимов, используют формулу:

$$\Delta W_n = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i, \quad (2)$$

где ΔP_i - нагрузочные потери мощности в сети в i -м режиме продолжительностью t_i часов; n - число режимов.

3. Методы учета характерных суток, используют формулу:

$$\Delta W_n = \sum_{i=1}^m \Delta W_{ni}^c \cdot D_{эки}, \quad (3)$$

где m - число характерных суток, потери электроэнергии за каждые из которых, рассчитанные по известным графикам нагрузки в узлах сети, составляют ΔW_{ni}^c , $D_{эки}$ - эквивалентная продолжительность в году i -го характерного графика (число суток).

4. Методы расчета числа часов наибольших потерь τ , используют формулу:

$$\Delta W_n = \Delta P_{max} \cdot \tau, \quad (4)$$

где ΔP_{max} - потери мощности в режиме максимальной нагрузки сети.

$$\tau = \frac{k_3 + 2 \cdot k_3^2}{3} \cdot T; \quad (5)$$

5. Методы средних нагрузок, используют формулу:

$$\Delta W_n = \Delta P_{cp} \cdot k_\phi^2 \cdot T, \quad (6)$$

где $\Delta P_{\text{ср}}$ - потери мощности в сети при средних нагрузках узлов (или в сети в целом) за время T ; k_{ϕ} - коэффициент формы графика нагрузок который определяется по

$$k_{\phi}^2 = \frac{1 + 2 \cdot k_3}{3 \cdot k_3}, \quad (7)$$

где k_3 - коэффициент заполнения графика, равный отношению числа часов использования максимальной нагрузки.

6. Статистические методы, использующие регрессионные зависимости потерь электроэнергии от обобщенных характеристик схем и режимов электрических сетей.

Методы 1-5 предусматривают проведение электрических расчетов сети при заданных значениях параметров схемы и нагрузок. Иначе их называют *схемотехническими* [1].

При использовании статистических методов потери электроэнергии рассчитывают на основе устойчивых статистических зависимостей потерь от обобщенных параметров сети, например суммарной нагрузки, суммарной длины линий, числа подстанций и т.п. Сами же зависимости получают им основе статистической обработки определенного количества схемотехнических расчетов, для каждого из которых известны рассчитанное значение потерь и значения факторов, связь потерь с которыми устанавливается.

Статистические методы не позволяют наметить конкретные мероприятия по снижению потерь. Их используют для оценки суммарных потерь в сети. Но при этом, примененные к множеству объектов, например линий 6-10 кВ, позволяют с большой вероятностью выявить те из них, в которых находятся места с повышенными потерями. Это дает возможность сильно сократить объем схемотехнических расчетов, а следовательно, и уменьшить трудозатраты на их проведение [1].

При проведении схемотехнических расчетов ряд исходных данных и результаты расчетов могут представляться в вероятностной форме, например в виде математических ожиданий и дисперсий. В этих случаях применяется аппарат теории вероятностей, поэтому эти методы называются *вероятностными схемотехническими методами* [3].

По особенностям схем и режимов электрических сетей и информационной обеспеченности расчетов выделяют пять групп сетей, расчет потерь электроэнергии в которых производят различными методами:

- транзитные электрические сети 220 кВ и выше (межсистемные связи), через которые осуществляется обмен мощностью между энергосистемами.

Для транзитных электрических сетей характерно наличие нагрузок, переменных по значению, а часто и по знаку (реверсивные потоки мощности). Параметры режимов этих сетей обычно измеряются ежечасно.

- замкнутые электрические сети 110 кВ и выше, практически не участвующие в обмене мощностью между энергосистемами;

- разомкнутые (радиальные) электрические сети 35-110 кВ.

Для питающих электрических сетей 110 кВ и выше и разомкнутых распределительных сетей 35-110 кВ параметры режима измеряются в дни контрольных замеров (характерные зимний и летний дни). Разомкнутые сети 35-110 кВ выделяются в отдельную группу в связи с возможностью проведения расчетов потерь в них отдельно от расчетов потерь в замкнутой сети.

- распределительные электрические сети 6-10 кВ.

Для разомкнутых сетей 6-10 кВ известны нагрузки на головном участке каждой линии (в виде электроэнергии или тока).

- распределительные электрические сети 0,38 кВ.

Для электрических сетей 0,38 кВ имеются лишь данные эпизодических замеров суммарной нагрузки в виде токов фаз и потерь напряжения в сети [4].

В соответствии с изложенным для сетей различного назначения рекомендуются следующие методы расчета.

Заключение: Методы поэлементных расчетов рекомендуются как предпочтительные для отдельных линий и трансформаторов, потери в которых существенно зависят от транзитных перетоков.

Методы характерных режимов рекомендуются для расчета потерь в системообразующей и транзитной сети при наличии телеинформации о нагрузках узлов, периодически передаваемой в ВЦ энергосистемы. Оба метода - поэлементных расчетов и характерных режимов - основаны на оперативных расчетах потерь мощности в сети или ее элементах.

Методы характерных суток и числа часов наибольших потерь могут использоваться для расчета потерь в замкнутых сетях 35 кВ и выше самобалансирующихся энергосистем и в разомкнутых сетях 6-110 кВ.

Методы средних нагрузок применимы при относительно однородных графиках нагрузки узлов. Они рекомендуются как предпочтительные для разомкнутых сетей 6-110 кВ при наличии данных об электроэнергии, пропущенной за рассматриваемый период по головному участку сети. Отсутствие данных о нагрузках узлов сети заставляет предполагать их однородность.

Статистические методы рекомендуются как предпочтительные для определения потерь в сетях 0,38 кВ.

В общем, в процессе расчета потерь в сетях более низких напряжений качество и состав информации ограничено, а в сетях более высоких напряжений эта информация наиболее полная. Все методы, применимые к расчетам потерь в сетях более высоких напряжений, при наличии соответствующей информации могут использоваться для расчета потерь и в сетях более низких напряжений.

Литература

1. Кабаков.А.А, Попов.А.А “Современное состояние проблемы расчета и анализа потерь электроэнергии” Молодой ученый. - 2017 . №12.- с.56-59.-URL <G:\Мамутов\moluch 146 ch1 1.pdf>
2. Железко.Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов Ю. М.: ЭНАС, 2009. 6-12 с.
3. Насыров Т.Х., Васильев В.Г., Васильев С.П. Имитационная модель для расчета потерь электрической энергии в распределительных сетях 0,4-6-10-35-110 кВ методом эквивалентного режима. Т. Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2008, №1-2, 43-51 с.
4. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. - М.: НУ ЭНАС, 2002. – 25-43.
5. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 176с.
6. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 368с.

Мамутов.М.М. Методы расчета потерь электроэнергии в электрических сетях.
Мамутов.М.М. Электр тармоқларида электроэнергия юқотилишини ҳисоблаш усуллари.
Mamutov.M.M. Methods for calculating energy losses in electrical networks.