

- аппроксимации эмпирических плотностей вероятности рядом Эджворта. - Иркутск : издательство ИрГТУ, 2011. - Т. 3., стр. 25-30.
3. Кузнецов Б. Ф., Бородкин Д. К., Лебедева, Л. В. Сборник трудов молодых ученых и студентов // Кумулянты произведения слу-

- чайных величин . - Ангарск : Ангарская государственная техническая академия, 2012. - стр. 50-56.
4. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. - М. : Советское радио, 1978. - 374 с.

Лисина Л.Ф.

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В последние годы чрезвычайную актуальность приобрел вопрос снижения потерь электрической энергии в электрических сетях. В связи с этим осуществляют нормирование потерь электроэнергии и определяют нормативные характеристики потерь элементов электрических сетей (линий и трансформаторов). С целью нормирования потерь используют укрупненную структуру, включающую в себя четыре составляющие:

- технические потери (потери в активных сопротивлениях линий и трансформаторов, а также в стали трансформаторов);
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- недоучет электрической энергии из-за погрешностей измерительных трансформаторов, потерь напряжения во вторичных цепях трансформаторов напряжения, погрешностей электрических счетчиков;
- коммерческие потери, обусловленные хищениями электрической энергии, задержками в платежах за потребленную энергию и др.

По неофициальным данным, доля коммерческих потерь в электрических сетях напряжением до 1 кВ по Российской Федерации достигает до 20...30% от передаваемой по этим сетям электрической энергии.

В ряде материалов первые две составляющие называют техническими потерями при транспортировке электроэнергии, а сумму третьей составляющей и потери, обусловленные хищениями, виновники которых не установлены, называются потерями при реализации электрической энергии. Минусом такой классификации является неучет задержек в платежах за потребленную электроэнергию.

Прохождение токов по линиям и силовым трансформаторам электрических сетей

вызывает потери мощности и электрической энергии, т.е. технические потери. Основное значение имеют потери в линиях.

Потери активной мощности в линии трехфазного тока при симметричной нагрузке определяют по формуле:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3 \cdot I^2 \cdot R,$$

- где I – ток в линейном проводе;
 R – активное сопротивление линии.

Потери электрической энергии в линии вычисляются по формуле:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\text{РАСЧ}}^2 \cdot R \cdot T_{\text{РАСЧ}},$$

- где $I_{\text{РАСЧ}}$ – некоторый расчетный ток, которым заменяют изменяющийся ток нагрузки линии;
 $T_{\text{РАСЧ}}$ – расчетное время.

Трудность расчета потерь электроэнергии заключается в том, что ток линии изменяется от некоторого максимального до некоторого минимального значения, причем график изменений имеет случайный характер.

При бытовой нагрузке всегда наблюдается вечерний максимум электропотребления с током $I_{\text{МАХ}}$ и дневной его минимум. Принципов расчета потерь несколько; здесь упрощенно будет рассмотрен будет рассмотрен только один – по максимальному току $I_{\text{МАХ}}$ и годовому времени максимальных потерь τ . Это означает, что в качестве расчетного принят $I_{\text{МАХ}}$, а расчетного времени – время максимальных потерь τ .

Максимальный ток линии $I_{\text{МАХ}}$ – это действующее значение тока наибольшей нагрузки линии, наблюдаемой в течение 30 минут (например, в вечерний максимум нагрузки).

Время максимальных потерь τ - расчетное время, в течение которого линия, работая в течение года с постоянной нагрузкой при то-

ке I_{MAX} , имела бы те же потери электрической энергии, как и при работе по действительному графику нагрузки.

Время максимальных потерь τ определяется по нормативным документам и зависит от числа часов использования максимума нагрузки T_{MAX} . Так, при $T_{MAX} = 3500$ ч (жилые дома с электроплитами) время максимальных потерь $\tau = 2000$ ч, а для жилых домов с газовыми плитами $T_{MAX} = 3000$ ч, время максимальных потерь $\tau = 1600$ ч.

Под числом часов использования максимума нагрузки понимают время, в течение которого линия, работая с неизменной нагрузкой I_{MAX} , передает за год такое же количество электрической энергии, как и при работе с реальным графиком нагрузки.

Таким образом, потери электрической энергии в линии за год можно определить по выражению:

$$\Delta W_{Л} = 3 \cdot I_{MAX}^2 \cdot R \cdot \tau,$$

В практике часто возникает необходимость приближенного определения потерь электрической энергии в линии, если известны показания электрического счетчика, установленного в конце линии. Решение такой задачи рассмотрено на примере.

Пример 1. Вычислить потери электрической энергии в линии за месяц (30 суток), если известно показание электрического счетчика, установленного в конце линии, $W = 15000$ кВт·ч. Коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,96$ (квартиры с газовыми плитами). Активное сопротивление линии $R = 0,32$ Ом.

Решение:

Определяется число часов в месяце:

$$t = 30 \cdot 24 = 720 \text{ ч.}$$

Определяется средний ток нагрузки линии:

$$\begin{aligned} I_{CP} &= \frac{W}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi \cdot t} = \\ &= \frac{15000 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,96 \cdot 720} \approx 33 \text{ А} \end{aligned}$$

Потери электроэнергии за месяц (без учета неравномерности графика нагрузки) равны:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 3 \cdot I_{CP}^2 \cdot R \cdot t = 3 \cdot 33^2 \cdot 0,32 \cdot 720 = \\ &= 752717 \text{ Вт·ч} \approx 753 \text{ кВт·ч,} \end{aligned}$$

Более точные расчеты требуют дополни-

тельной информации: о графике нагрузки и напряжении на линии. Поэтому рассмотренный пример позволяет лишь оценить величину потерь в линии, а не точно вычислить их.

Потери электрической энергии в трансформаторах за год вычисляют по формуле:

$$\Delta W_T = P_X \cdot T_B + \beta^2 P_K \cdot \tau,$$

где P_X, P_K – потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора, соответственно;

$\beta = S_{MAX}/S_{НОМ}$ – коэффициент загрузки трансформатора;

T_B – время работы (включенного состояния) трансформатора за год.

Пример 2. Определить годовые потери электрической энергии в силовом трансформаторе ТП с номинальной мощностью $S_{НОМ} = 400$ кВт·А. ТП питает жилые дома без лифтов с газовыми плитами. Расчетная активная электрическая нагрузка $P_P = 200$ кВт, расчетный коэффициент реактивной мощности $\text{tg} \varphi = 0,29$. Число часов использования максимума нагрузки $T_{MAX} = 3000$ ч, время максимальных потерь $\tau = 1600$ ч. Время включенного состояния трансформатора 7500 ч.

Потери холостого хода трансформатора $P_X = 0,92$ кВт; короткого замыкания $P_K = 5,5$ кВт.

Решение:

Определяется полная расчетная мощность нагрузки:

$$S_P \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{P_P^2 + P_P^2 \cdot \text{tg}^2 \varphi}.$$

Подставим числовые значения:

$$S_P = 200 \cdot \sqrt{1 + 0,29^2} = 208 \text{ кВт·А.}$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = S_P/S_{НОМ} = 208/400 = 0,52.$$

Годовые потери электрической энергии в трансформаторе:

$$\begin{aligned} \Delta W_T &= P_X \cdot T_B + \beta^2 \cdot P_K \cdot \tau = 0,92 \cdot 7500 + \\ &+ 0,52^2 \cdot 5,5 \cdot 1600 \approx 6900 + 2380 = 9280 \text{ кВт·ч.} \end{aligned}$$

Из данного примера видно, что значительная недогрузка трансформатора приводит к повышению удельного веса потерь холостого хода трансформаторов.

Обычно в распределительных электрических сетях наибольший вклад в потери вносят линии напряжением до 1 кВ (10 – 12% потерь от передаваемой энергии), а коммерче-

ские потери в тех же линиях могут составлять 20% и выше. В силовых трансформаторах эта доля часто составляет 2-3%, а в линиях распределительной сети напряжением выше 1 кВ – 3 - 6%. Основные способы снижения потерь энергии следующие:

- правильный выбор сечений линейных проводов линий, в первую очередь, на головных участках магистральных линий. Рекомендуется при возможности увеличивать сечения проводов головных участков (в том числе линий 0,4 кВ);
- симметрирование нагрузок по фазам на линиях напряжением до 1кВ;
- увеличение сечения нулевых проводов линий напряжением до 1 кВ (сечения линейных и рабочих нулевых проводов целесообразно иметь равными, а в ряде случаев – при больших однофазных нагрузках – сечение нулевого провода должно быть больше сечения линейного провода);
- рациональное построение сети, прежде всего уменьшение протяженности линий напряжением до 1 кВ;
- уменьшение числа включенных ненагруженных и слабонагруженных силовых трансформаторов;
- правильный выбор силовых трансформаторов ТП (в нормальном максимальном режиме трансформаторы должны быть загружены примерно на 70%);
- правильный выбор точек разреза, т.е. мест деления на две части линий с двусторонним питанием.

Точкой разреза линии с двусторонним питанием называют место установки коммутационного аппарата (разъединителя, выключателя нагрузки и др.), который обеспечивает совместную и раздельную работу источников питания потребителей, подключенных к линии. При отключенном положении этого аппарата часть потребителей, подключенных к линии, питается от одного источника, а другая – от другого. Благодаря этому уменьшается ток короткого замыкания, а при правильном выборе точки разреза удается во многих случаях снизить потери электроэнергии в магистральной линии.

Возможно, что в районах с негустой застройкой (дачные участки, коттеджи и др.) окажется целесообразной прокладка магистральных линий напряжением 6-10 кВ с самонесущими изолированными проводами (СИП) и маломощными силовыми трансформаторами

(до 100 кВА).

Основным путем сокращения финансовых потерь энергоснабжающей организации при реализации электроэнергии в бытовой сфере является снижение коммерческих потерь электрической энергии. С этой целью передовые предприятия рекомендуют:

- использовать современный парк электрических счетчиков, т.е. заменить устаревшие физически и морально приборы на современные, имеющие более высокую точность;
- совершенствовать систему приема платежей от населения за потребленную электрическую энергию и работу с неплательщиками с целью обеспечения своевременности оплаты. Многие добросовестные абоненты просто не имеют времени для траты его в очередях в кассах Сбербанка. Поэтому предприятия энергосбыта должны вести работу по улучшению условий приема оплаты за электроэнергию (в частности, привлекать администрации населенных пунктов к сбору платежей за потребленную населением электрическую энергию);
- повышать материальную заинтересованность персонала в снижении коммерческих потерь энергии (некоторые сетевые предприятия оставляют для материального поощрения персонала до 50% от дохода, обусловленного выявлением хищений электроэнергии);
- практиковать применение линий с самонесущими изолированными проводами, с целью затруднения хищения электроэнергии непосредственно с ВЛ;
- выполнять электрические вводы кабелем или коаксиальным силовым проводом с возможностью визуального контроля ввода вплоть до приборов учета;
- применять выносные (вне квартиры, дома и др.) специальные шкафы учета с затрудненным доступом к токоведущим частям, с целью исключения хищения электроэнергии;
- использовать специальные приборы для выявления неконтролируемого потребления электрической энергии (могут использоваться, например, УЗО дифференциального типа).

Отметим, что задача снижения коммерческих потерь является трудно решаемой из-за большого числа потребителей, недостаточного количества касс Сбербанка, принимающих оплату, малого штата контролеров, сложностей,

связанных с доступом к приборам учета в частном секторе, емкой и длительной процедуры отключения злостного неплательщика от электрической сети, а также ввиду отсутствия достаточной дешевой и удобной в эксплуатации информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии (ИИСКУЭ) в сетях напряжением до 1 кВ.

Следует сказать также, что на цифру коммерческих потерь электроэнергии влияют как раз не самые бедные слои населения (пенсионеры и др.), а индивидуальные предприниматели и малые предприятия, стремящиеся любой ценой максимизировать доходы от своей деятельности.

В настоящее время имеются публикации о разработанных ИИСКУЭ для сетей напряжением до 1 кВ и об их практическом применении. Однако реальное внедрение этих систем в практику затрудняется из-за отсутствия финансирования.

Решение проблемы коммерческих потерь электрической энергии затрудняется также разделением функций в электроэнергетике: финансовыми потоками занимаются предпри-

ятия энергосбыта, а финансовые убытки за потерю энергии несут электросетевые предприятия. В результате вместо работы по снижению потерь энергии зачастую происходит так называемое перекрестное (фактически, часто за коммерческие потери в бытовой сфере платят промышленные предприятия). Очевидно, что вышеуказанное распределение функций не способствует повышению экономичности работы распределительных электрических сетей.

По вышеназванным причинам проблема снижения коммерческих потерь электроэнергии еще далека от решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. «Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях». Руководство для практических расчетов. – М.: НЦ ЭНАС, 2005. – 280 с.
2. Кужеков С.Л., С.В. Гончаров «Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию». – Изд. 2-е, Феникс, 2008. – 492 с.

Пильцов М.В.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТРЕБИТЕЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Очевидно, что даже самые качественные линии передачи и проводники в устройствах потребления обладают распределенными сопротивлениями, следовательно, любой процесс передачи и потребления электрической энергии сопровождается потерями. Большая часть из этих потерь вызывает нагрев токоведущих частей, что отрицательным образом сказывается на свойствах используемой изоляции и их физических свойствах в целом [1].

Величина потерь прямо пропорциональна величине протекающего тока. Если эти процессы не учитывать, осуществляя защиту только от короткого замыкания, то может произойти следующее явление. В цепи будет протекать ток, значение которого ниже порога срабатывания защиты от КЗ, его длительное протекание вызовет значительный нагрев проводников, что может привести к их физическому разрушению. К тому же высокая температура приводит к разрушению изоляции, что впоследствии может привести к короткому замыканию.

Для исключения явлений описанных выше применяют тепловую защиту (защиту от перегрузки) [2]. Её осуществляет большое количество устройств, таких как автоматические выключатели, различные аналоговые и цифровые реле и в какой-то мере плавкие предохранители [3].

Принцип обеспечения тепловой защиты в этих устройствах (кроме предохранителей) основан на использовании биметаллической пластинки в качестве чувствительного элемента. Она представляет собой соединение двух хорошо проводящих ток металлов, имеющих различные коэффициенты линейного расширения. При её нагреве металлы начинают расширяться, что приводит к изменению формы пластинки, и она прогибается в сторону металла, чей коэффициент расширения меньше. Меняя свою форму, пластинка приводит в действие механизм и происходит разрыв защищаемой цепи. Пример пластинки приведен на рисунке 1, стрелочка указывает направление деформации.