

ций могли бы корректироваться централизованно. В-третьих, создание автоматизированной системы оперативной корректировки нормативов численности персонала возможно на основе уже функционирующей автоматизированной системы расчета нормативной численности персонала энергосистемы.

УДК 621.316.13

В.В.Яцкевич, Л.И.Демиденко

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 КВ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

Проектируемая сеть 6-10-20 кВ подлежит проверке на максимальную потерю напряжения от центра питания до наиболее удаленной подстанции [1].

Потерю напряжения на участке с удовлетворительной точностью определяют по приближенной, не учитывающей поперечной составляющей падения напряжения, формуле

$$\Delta U_n = \frac{R_n P_n + x_n Q_n}{U_n}, \quad (1)$$

где R_n , x_n - активное и индуктивное сопротивления n -го участка сети; P_n , Q_n , U_n - активная и реактивная мощности, напряжение в начале участка.

При большом количестве участков и нескольких расчетных режимов вычисления по этой формуле, состоящей из пяти переменных величин, становятся громоздкими даже с применением вычислительной техники. Расчеты намного сокращаются, если использовать в качестве параметра соотношение активного и индуктивного сопротивления линии.

Выразим P_n , Q_n формулы (1) через полную мощность и коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi$

$$\Delta U_n = \frac{R_n \cdot Q_n}{U_n} \cos \varphi + \frac{x_n \cdot S_n}{U_n} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}. \quad (2)$$

Примем потерю напряжения при $\cos \varphi = 0$ за единицу:

$$\Delta U_{no} = \frac{x_n \cdot S_n}{U_n}.$$

Тогда относительное изменение падения напряжения как функции $\cos \varphi$ определяется выражением

$$\Delta U_{*n} = \frac{\Delta U_n}{\Delta U_{no}} = m \cos \varphi + \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}, \quad (3)$$

где $m = \frac{R_n}{x_n}$ - отношение активного и индуктивного сопротивлений участка линии.

Иследуем выражение (3) на максимум при изменении $\cos \varphi$ от нуля до единицы. Первая производная по $\cos \varphi$

$$(\Delta U_{*n})' = m - \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}.$$

Приравнявая ее нулю и решая относительно $\cos \varphi$, находим $\cos \varphi_m$, при котором потеря напряжения, определяемая выражением (3), имеет максимальное значение

$$\cos \varphi_m = \frac{m}{\sqrt{1 + m^2}}. \quad (4)$$

Чтобы определить максимальное значение потери напряжения на участке, подставим (4) в формулу (3)

$$\Delta U_{*m} = \sqrt{m^2 + 1}.$$

Из последней формулы следует, что максимальная относительная потеря напряжения определяется только соотношением активного и индуктивного сопротивлений линии и не зависит от нагрузки.

Выясним, насколько отличается потеря напряжения от максимальной при изменении $\cos \varphi$.

Участки распределительной сети 10 кВ в зависимости от сечения проводов АС, которыми они выполнены, могут иметь следующие значения m (табл. 1).

Таблица 1. Соотношение сопротивлений линии $m = \frac{R}{x}$ для различных сечений провода АС

Сечение провода АС	35	50	70	95	120	150
$m = \frac{R}{x}$	2,26	1,61	1,18	0,89	0,74	0,54
ΔU_{*cp}	2,34	1,84	1,52	1,26	1,18	1,06

Наибольшее отклонение ΔU_{*} от среднего значения, %

6	3	2	5	7	10
---	---	---	---	---	----

Рассчитаем для каждой марки провода по формуле (3) зависимость $\Delta U_* = f(\cos \varphi)$ и представим ее графически (рис. 1). Если $\cos \varphi = 0$, то для всех значений m получим $\Delta U_* = 1$; все кривые выходят из одной точки. Диапазон изменений $\cos \varphi$ ограничен значениями 0,6–1 по следующим причинам. В литературе [2] приведены суточные графики нагрузок для города, промышленных предприятий и сельской местности. Установлено, что реактивная мощность подвержена меньшим колебаниям в течение суток, чем реактивная. Наибольшим изменениям коэффициент мощности подвержен в сельских сетях, где он изменяется в течение суток: зимних – 0,74–0,92, осенних – 0,62–0,79, летних – 0,63–0,75.

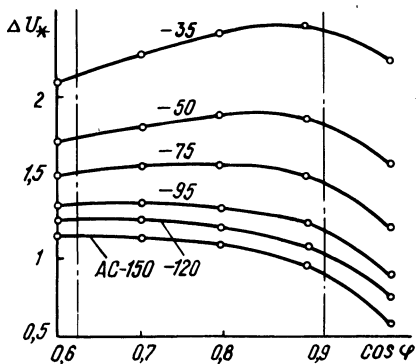


Рис. 1. Зависимость $U_* = f(\cos \varphi)$ для ЛЭП-10 кВ с проводом АС-35 — 120 мм².

Из анализа суточных графиков нагрузки промышленных предприятий следует, что $\cos \varphi$ изменяется еще в более узких пределах. Так, для предприятий промышленности: химической $\cos \varphi = 0,8-0,85$, машиностроительной – 0,77–0,82, деревообрабатывающей – 0,76–0,88. Если даже принять наиболее широкий предел изменения $\cos \varphi$ от 0,62 до 0,92 (на рис. 1 эти значения отмечены пунктирными линиями) и подсчитать процентное отклонение потери напряжения относительно среднеквадратичных значений, то получим цифры, равные нескольким процентам: для АС-35 оно равно $\pm 6\%$, для АС-70 еще меньше $\pm 2\%$, т.е. режим напряжений при изменении $\cos \varphi$ в указанном диапазоне можно считать неизменным.

Отсюда следует методика вычисления потерь напряжения.

Так как $\Delta U_* = \frac{\Delta U_n}{\Delta U_{no}}$, то потеря напряжения на n -ом участке

$$\Delta U_n = \Delta U_* \text{ ср} \Delta U_{no} \quad (5)$$

Таблица 2. Расчет потери напряжения на участках линии

Номер участка	1	2	3
S_i, kVA	800	600	350
$x_n = x_{oi}, \text{ Ом}$	3,8	1,9	2,7
$\Delta U_{no} = \frac{x_n \cdot S_n}{U_n}, \text{ В}$	274	106	93,5
$\Delta U_n = 2,34 \Delta U_{no}, \text{ В}$	640	248	219

Стается вычислить $\Delta U_{no} = \frac{x_n \cdot S_n}{U}$ и потерю напряжения при $\cos \varphi = 0$, умножить на коэффициент ΔU_{*cp} из табл. 1, соответствующий данному сечению проводов.

В табл. 2 приведен расчет потери напряжения на участках линии 10 кВ с проводом АС-35, питающей три подстанции, удаленных на 10, 5, 7 км, нагрузка которых в режиме зимнего максимума $S_1 = 200 \text{ кВА}$, $S_2 = 250 \text{ кВА}$, $S_3 = 350 \text{ кВА}$.

Умножая ΔU_{no} на коэффициент $\Delta U_{*cp} = 2,34$ (табл. 1), находим потерю напряжения на участках линии (последняя строка табл. 2). Если она окажется выше допустимой, то для следующего большего сечения надо будет пересчитать только последнюю строку табл. 2. Так как индуктивное сопротивление линии не зависит от сечения проводов, то ΔU_{no} остается без изменений. В более узком диапазоне изменения $\cos \varphi$, характерном для промышленных предприятий, результат полностью совпадает с вычислениями по формуле (1).

Л и т е р а т у р а

1. Справочник по проектированию электрических систем / Под ред. С.С.Рокотяна и И.М.Шапиро. - М.: Энергия, 1971.
2. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. - М.: Энергия, 1975.