Методика расчета потерь электрической энергии

Потери электрической энергии рассчитываются на участке электрической сети от места установки прибора учета до границы раздела балансовой принадлежности электрических сетей Потребителя.

Условные обозначения:

1. $\Delta W_{\text{а}}$ – потери активной энергии в элементах эл. сети (кВт ∗ ч) - расчётная величина
2. $W_{\text{а}}$ – расход электрической энергии (кВт ∗ ч) – определяется по показаниям счётчиков
3. $\Delta W_{\text{хх}}, \Delta W_{\text{нагр}}$ – потери эл. энергии холостого хода и нагрузочные соответственно (кВт ∗ ч) - расчётные величины
4. $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение элемента эл. сети (кВ) - справочные данные
5. $\Delta P_{\text{кз}}, \Delta P_{\text{хх}}$ – потери короткого замыкания и холостого хода соответственно (кВт) - справочные данные
6. $I_{\text{ном}}, I_{\text{мах}}$ – ток номинальный и максимальный рабочий соответственно (А) - справочные данные
7. $\Delta P_{\text{р}}$ – номинальные потери в реакторе на фазу (кВт) - справочные данные
8. T – число часов работы в рассматриваемом периоде (часы) – обычно число часов в месяце
9. R – сопротивление в элементах сети (Ом) – расчётная величина
10. $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность элемента эл. сети (кВА) – справочные данные
11. k_k – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки, принимается равным- k_k =0,99
12. $\cos\varphi$ – коэффициент мощности:
    - для промышленных и приравненных к ним – 0,8
    - для сельскохозяйственных потребителей – 0,86
    - для тяговых подстанций на переменном токе – 0,71
    - для тяговых подстанций на постоянном токе – 0,9
    - для непромышленных:
        - предприятия общественного питания полностью электрифицированные, д/сады, сети освещения, парикмахерские – 0,98
        - предприятия общественного питания частично электрофицированные (с плитами на твёрдом или газообразном топливе) школы с пищеблоками – 0,95
        - кинотеатры, клубы – 0,92
        - школы без пищеблоков , учебные корпуса, гостиницы, непродовольственные магазины – 0,9
        - здания и учреждения управлений, банков, проектные и конструкторские организации – 0,87
        - дома отдых, пансионаты, детские лагеря, гостиницы без кондиционирования - 0,92
        - дома отдых, пансионаты, детские лагеря, гостиницы с кондиционированием воздуха, а также ателье, бани - 0,85
        - продовольственные магазины – 0,8
        - химчистки, прачечные – 0,8
        - лифты – 0,65
        - смешанная нагрузка (н-р: лифты + места общего пользования) – 0,85
    - в иных случаях рассчитывается по расходам активной и реактивной энергий по формуле

$$\cos\varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}$$

13. $К_{\text{ф}}$ – коэффициент формы графика нагрузки Потребителя
    - используются значения в квадрате $К_{\text{ф}}^2$
        - для потребителей, работающих в односменном режиме (менее 8 часов в сутки) – 1,6
        - для потребителей, работающих в двусменном режиме (от 9 до 16 часов в сутки) – 1,4
        - для потребителей, работающих в трёхсменном режиме (круглосуточно) – 1,1
        - для предприятий с непрерывным циклом производства – 1,05
    - в иных случаях рассчитывается по данным в день контрольных замеров либо по данным, полученным с помощью АСКУЭ, телеизмерениям по формулам:

$К_{\text{ф}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{T} P_i^2}{P_{\text{ср}}^2 * T}$, i – час, P_i – почасовые замеры нагрузки, $P_{\text{ср}}$ – среднесуточная нагрузка за период Т;

$К_{\text{ф}}^2 = (0.124 * \frac{P_{max} * T}{W_a} + 0.876)^2$, i – час, P_i – почасовые замеры нагрузки, P_{max} – максимум нагрузки за период Т;

При отсутствии информации о режиме работы потребителей, $К_{\text{ф}}^2$ принимается равным - 1,3

14. $R_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление линии (Ом/км)– справочные данные
15. L – Длина линии (км) – исходные данные
16. $\Delta W_{\text{кор}}$ – потери электрической энергии на корону (кВт ∗ ч) – расчётная величина
17. $\Delta P_{\text{кор}}$ – удельные потери эл. энергии на корону $\left(\frac{\text{кВт}}{\text{км}}\right)$– справочные данные
18. τ – время максимальных потерь – (в промежуточной формуле, в расчётах не участвует)

При расчетах потерь в элементах электрических сетей используются справочные данные, из следующих источников:

- Справочник по электроснабжению и оборудованию. Под общ. Ред. А.А. Федорова В 2-х т. Т.2. Электрооборудование. М., «Энергоатомиздат», 1987 г.
- Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Под общ. Ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. В 2-х кн. 1. Проектно-расчетные сведения. М., «Энергия», 1973 г.
- Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Под общ. Ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. В 2-х кн. 2. Технические сведения об оборудовании. М., «Энергия», 1974 г.
- Электрические кабели , провода и шнуры: Справочник / Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева; Под ред. НИ. Белоруссова. -5 изд., перераб. И доп. –М.: Энергоатомиздат, 1988.

<u>Формулы определения потерь электроэнергии в элементах сети:</u>

Определение потерь в токоограничивающих реакторах

$$\Delta W_{\text{а}} = 3 * \text{К}_{\text{ф}}^2 * \text{k}_{\text{к}} * (\frac{I_{\text{мах}}}{I_{\text{ном}}})^2 * \Delta P_{\text{р}} * \tau, \quad I_{\text{мах}} = \frac{W_{\text{а}}}{T*\sqrt{3}*U_{\text{ном}}*\cos\varphi}$$

$$\Delta W_{\text{а}} = \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \frac{\Delta P_{\text{р}}}{T*U_{\text{ном}}^2*\cos\varphi^2*{I_{\text{ном}}}^2} * {W_{\text{а}}}^2 \qquad (1)$$

Вольтодобавочные трансформаторы

$$\Delta W_{\text{а}} = \Delta W_{\text{хх}} + \Delta W_{\text{нагр}} = \Delta P_{\text{хх}} * T + \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \Delta P_{\text{кз}} \frac{{W_{\text{а}}}^2}{T*S_{\text{ном}}^2*\cos\varphi^2} \qquad (2)$$

ДВУХОБМОТОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Потери электрической энергии в силовых трансформаторах определяются следующим образом:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{хх}} + \Delta W_{\text{нагр}} = \Delta P_{\text{хх}} * T + \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \Delta P_{\text{кз}} \frac{{W_{\text{а}}}^2}{T*S_{\text{ном}}^2*\cos\varphi^2} \qquad (3)$$

АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ, ТРЁХОБМОТОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Потери электрической энергии определяются следующим образом:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{хх}} + \Delta W_{\text{нагр}} \Delta P_{\text{хх}} * T_n + \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * (\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн}}} \left(\frac{S_{max_{\text{вн}}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 * \tau_{\text{вн}} + \Delta P_{\text{кз}_{\text{сн}}} \left(\frac{S_{max_{\text{сн}}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 * \tau_{\text{сн}} + \Delta P_{\text{кз}_{\text{нн}}} \left(\frac{S_{max_{\text{нн}}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 * \tau_{\text{нн}})$$

$$\Delta W_{\text{нагр}} = \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \Delta P_{\text{кз}} * \frac{1}{S_{\text{ном}}^2} * \frac{P_{max}^2}{\cos^2\varphi} * \frac{\sum_{i=1}^{T} P_i^2}{P_{max}^2} = K_{\text{ф}}^2 * k_k * \Delta P_{\text{кз}} * \frac{1}{S_{\text{ном}}^2*\cos^2\varphi} * P_{\text{ср}}^2 * T * \frac{T}{T} = \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \Delta P_{\text{кз}} \frac{{W_{\text{а}}}^2}{T*S_{\text{ном}}^2*\cos^2\varphi}$$

Итоговая формула

$$\Delta W = \Delta P_{\text{хх}} * T + k_k * \text{к}_{\text{ф}}^2 * (\frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн}}} * {W_{\text{а}_{\text{вн}}}}^2}{T*S_{\text{ном}_{\text{вн}}}^2*\cos^2\varphi} + \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн}}} * {W_{\text{а}_{\text{сн}}}}^2}{T*S_{\text{ном}_{\text{сн}}}^2*\cos^2\varphi} + \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{нн}}} * {W_{\text{а}_{\text{нн}}}}^2}{T*S_{\text{ном}_{\text{нн}}}^2*\cos^2\varphi}) \qquad (4)$$

<u>Потери КЗ в каждой обмотке</u>

для автотрансформаторов

$\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн}}}$=0,5*($\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-сн}}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-нн}}}}{\alpha^2} - \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн-нн}}}}{\alpha^2}$), $\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн}}}$=0,5*($\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-сн}}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн-нн}}}}{\alpha^2} - \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-нн}}}}{\alpha^2}$),

$\Delta P_{\text{кз}_{\text{нн}}}$=0,5*($\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-нн}}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн-нн}}}}{\alpha^2} - \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-сн}}}}{\alpha^2}$), где α – коэффициент типовой мощности $\alpha = \frac{U_{\text{вн}} - U_{\text{сн}}}{U_{\text{вн}}}$

для трёхобмоточных трансформаторов

$\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн}}}$=0,5*($\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-сн}}} + \Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-нн}}} - \Delta P_{\text{кз}_{\text{сн-нн}}}$), $\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн}}}$=0,5*($\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-сн}}} + \Delta P_{\text{кз}_{\text{сн-нн}}} - \Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-нн}}}$),

$\Delta P_{\text{кз}_{\text{нн}}}$=0,5*($\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-нн}}} + \Delta P_{\text{кз}_{\text{сн-нн}}} - \Delta P_{\text{кз}_{\text{вн-сн}}}$),

сопротивление в обмотках $R_{\text{вн}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{вн}}} * U^2}{S_{\text{ном}}^2 * 10^6}$, $R_{\text{сн}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{сн}}} * U^2}{S_{\text{ном}}^2 * 10^6}$, $R_{\text{нн}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}_{\text{нн}}} * U^2}{S_{\text{ном}}^2 * 10^6}$

ПОТЕРИ В ЛЭП

Потери в воздушной линии

$$\Delta W = 3 * \text{к}_{\text{ф}}^2 * k_k * I^2 * R_{\text{л}} * T = \text{к}_{\text{ф}}^2 * k_k * \frac{R_{\text{л}} * {W_{\text{а}}}^2}{U^2 * T * \cos^2\varphi * 10^3} \qquad (5)$$

В сетях 220 кВ и выше необходимо учитывать потери на корону, равные $\Delta W_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{кор}} * L * T$ *(29)*

Потери в кабельной линии

Потери в трёхфазной цепи $\Delta W = 3 * \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * I^2 * R_{\text{л}} * T = \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \frac{R_{\text{л}} * {W_{\text{а}}}^2}{U^2 * T * \cos^2\varphi * 10^3}$ *(6)*

Потери в однофазной цепи $\Delta W = \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * I^2 2 * R_{\text{л}} * T = \text{К}_{\text{ф}}^2 * k_k * \frac{2 * R_{\text{л}} {W_{\text{а}}}^2}{U^2 * T * \cos^2\varphi * 10^3}$ *(7)*

<u>Определение потерь электроэнергии при параллельном включении элементов сети:</u>

Потоки электроэнергии для расчёта потерь электроэнергии по каждому из параллельно включенных элементов электрической сети рассчитывается по формулам:

$W_1 = W_\Sigma * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, $W_2 = W_\Sigma * \frac{R_1}{R_2 + R_1}$

где W_Σ – суммарный поток электроэнергии,

W_1 и W_2 – потоки электроэнергии по элементам электрической сети 1 и 2

Далее потери рассчитываются согласно формулам *(1-7)*