

Потери мощности и энергии в элементах электрических сетей

План

Теория	1
Задачи	3

Теория

При анализе потерь электроэнергии в электрической сети следует различать переменные и постоянные потери активной энергии, обусловленные переменными и постоянными потерями активной мощности. Переменные потери активной мощности зависят от токов и потоков мощности в элементах электрической сети, постоянные практически не зависят.

К переменным потерям относятся потери мощности в продольных (вдоль направления тока) активных сопротивлениях ЛЭП и трансформаторов.

К постоянным потерям относят потери на корону в воздушных линиях (ВЛ) — $\Delta P_{\text{кор.ср}}$, потери в изоляции кабельных линий (КЛ) — $\Delta P_{\text{из}}$, потери в стали трансформаторов, которые обычно принимают равными потерям в режиме холостого хода трансформаторов (Т) и автотрансформаторов (АТ) — $\Delta P_{\text{хх}}$.

При расчете величины постоянных годовых потерь активной энергии обычно полагают, что число часов нахождения различных элементов сети под рабочим напряжением равняется $T_r = 8760$ ч.

Тогда постоянные потери активной энергии за год:

- для воздушных линий $\Delta \mathcal{E}_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{кор.ср}} \cdot 8760$;
- для кабельных линий $\Delta \mathcal{E}_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{из}} \cdot 8760$;
- для трансформаторов и автотрансформаторов $\Delta \mathcal{E}_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{хх}} \cdot 8760$.

При расчете величины постоянных суточных потерь активной энергии используются те же, что и для года, соотношения для всех элементов электрических сетей, но с другой длительностью временного интервала, $T_c = 24$ ч.

Потери активной энергии в продольном сопротивлении любого элемента (ВЛ, КЛ, Т, АТ) можно определить, умножив потери активной мощности в этом сопротивлении на время прохождения по сопротивлению потока мощности (неизменного тока нагрузки), по которому определены потери мощности. Однако нагрузки потребителей, а следовательно, и

потери мощности в продольных сопротивлениях элементов сети меняются в течение суток и года.

С целью упрощения расчетов переменных потерь активной энергии используется величина τ — время максимальных потерь. В этом случае достаточно знать лишь величину потерь ΔP_{max} — активной мощности в продольном сопротивлении элемента в режиме максимальных нагрузок P_{max} .

Тогда величина переменных потерь активной энергии в продольном элементе определяется как

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{пер}} = \Delta P_{max} \cdot \tau$$

Потери мощности в продольном сопротивлении могут быть найдены по соотношению

$$\Delta P_{max} = \left(\frac{S_{max}}{U} \right)^2 R = 3I^2 R$$

где S_{max}, U — соответственно поток мощности и напряжения в начале или в конце продольного элемента сети, но обязательно в одной точке; I — ток в продольном элементе сети.

Величина τ может быть определена различными способами.

Число часов максимальных потерь τ за сутки может быть найдено по суточному графику нагрузки узлов сети

$$\tau = \frac{\sum_{k=1}^N S_i^2 t_i}{S_{max}^2}$$

где S_i, S_{max} — соответственно мощность нагрузки на временном интервале i , где мощности нагрузки постоянна, и максимальная мощность нагрузки за сутки.

Число часов максимальных потерь τ за год может быть найдено по годовому графику по продолжительности по аналогичному соотношению

$$\tau = \frac{\sum_{k=1}^N S_i^2 t_i}{S_{max}^2}$$

где S_i, S_{max} — соответственно мощность нагрузки на временном интервале i , где мощности нагрузки постоянна, и максимальная мощность нагрузки за год.

Число часов максимальных потерь τ за год может быть найдено по известному значению T_{max} — годовой продолжительности использования максимума нагрузки с использованием эмпирической формулы:

$$\tau = (0,124 + T_{max}/10\,000)^2 \cdot 8760 \text{ ч}$$

Если сеть содержит несколько нагрузок, то для определения переменных потерь активной электроэнергии пользуются средневзвешенным числом часов максимальных потерь $\tau_{\text{ср.вз}}$

$$\tau_{\text{ср.вз}} = \frac{\sum_{k=1}^n S_{max,k}^2 \tau_k}{\sum_{k=1}^n S_{max,k}^2}$$

где $S_{max,k}$ — максимальная мощность нагрузки узла с номером «к»; τ_k — число часов максимальных потерь, найденное по графику нагрузки этого узла.

Задачи

Задача 1

Определить потери мощности и годовые потери электроэнергии для сети, представленной на [рис. 2.1](#), нагрузки, показанные на схеме, соответствуют максимальному режиму. График нагрузки приведен на [рис. 2.2](#). Напряжение в питающем узле 1 равно 525 кВ.

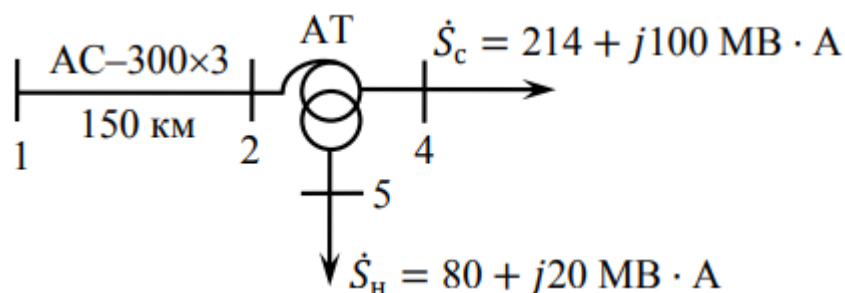


Рисунок 2.1 Схема сети

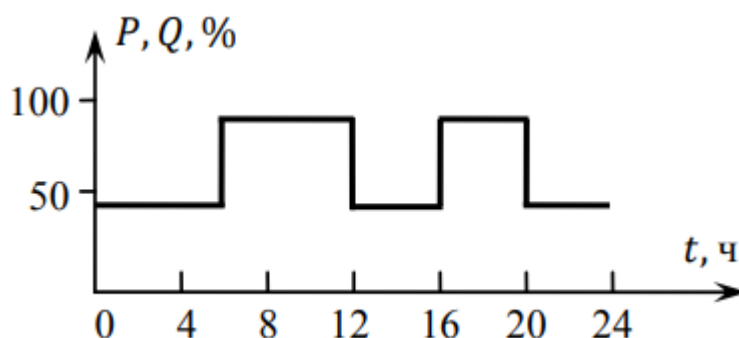


Рисунок 2.2 График нагрузки

Решение задачи

Параметры схемы замещения определены с использованием справочных данных. Схема замещения сети приведена на [рис. 2.3](#), поперечная проводимость в узле 2 (Y_2) является алгебраической суммой проводимостей половины ЛЭП и проводимости автотрансформатора.

Поскольку напряжения в точках 2, 3, 4' и 5' заранее неизвестны, они приняты равными напряжению в точке 1, т. е. 525 кВ; при этом допущении определяются потери мощности и электроэнергии во всех элементах схемы.

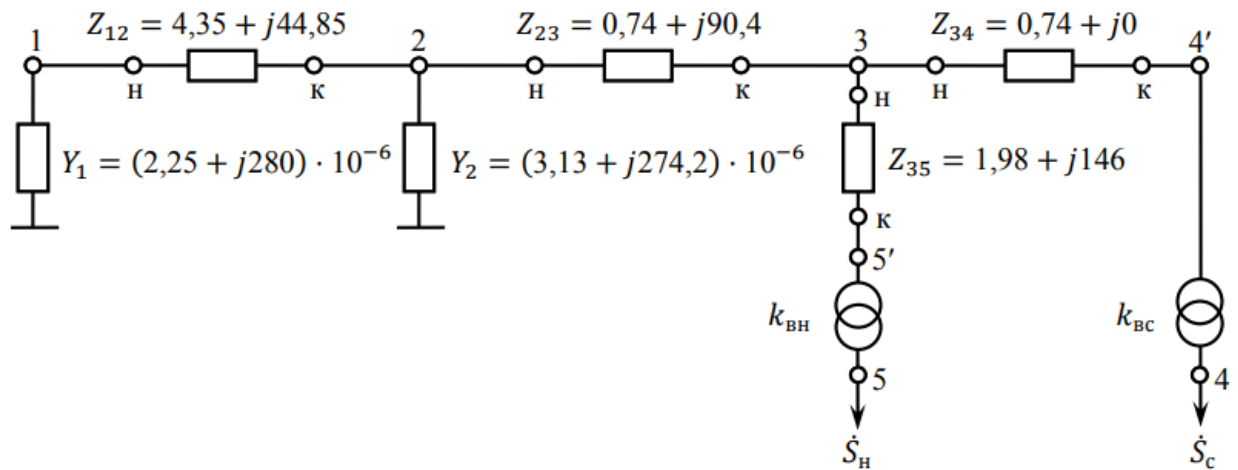


Рисунок 2.3 Схема замещения сети

Определение потерь мощности в сети в режиме максимальных нагрузок (МВ·А):

$$\dot{S}_{34}^K = 214 + j100;$$

$$\Delta \dot{S}_{34} = \frac{214^2 + 100^2}{525^2} \cdot 0,74 = 0,15;$$

$$\dot{S}_{34}^H = \dot{S}_{34}^K + \Delta \dot{S}_{34} = 214,15 + j100;$$

$$\dot{S}_{35}^K = 80 + j20;$$

$$\Delta \dot{S}_{35} = \frac{80^2 + 20^2}{525^2} \cdot (1,98 + j146) = 0,049 + j3,6;$$

$$\dot{S}_{35}^H = \dot{S}_{35}^K + \Delta \dot{S}_{35} = 80,05 + j23,6;$$

$$\dot{S}_{23}^K = \dot{S}_{34}^H + \dot{S}_{35}^H = 214,5 + j100 + 80,05 + j23,6 = 294,2 + j123,6;$$

$$\Delta \dot{S}_{23} = \frac{294,2^2 + 123,6^2}{525^2} \cdot (0,74 + j90,4) = 0,28 + j33,4;$$

$$\dot{S}_{23}^H = \dot{S}_{23}^K + \Delta \dot{S}_{23} = 294,5 + j157;$$

$$\Delta \dot{S}_2 = \hat{Y}_2 U_2^2 = (3,13 - j274,2) \cdot 10^{-6} \cdot 525^2 = 0,86 - j75,6;$$

$$\dot{S}_{12}^K = \dot{S}_{23}^H + \Delta \dot{S}_2 = 295,3 + j81,4;$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{295,3^2 + 81,4^2}{525^2} \cdot (4,35 + j44,85) = 1,5 + j15,3;$$

$$\dot{S}_{12}^H = \dot{S}_{12}^K + \Delta \dot{S}_{12} = 296,8 + j96,7;$$

$$\Delta \dot{S}_1 = \hat{Y}_1 U_1^2 = (2,25 - j280) \cdot 10^{-6} \cdot 525^2 = 0,62 - j77,2.$$

Мощность, потребляемая из питающего данную сеть узла:

$$\dot{S} = \dot{S}_{12}^H + \Delta \dot{S}_1 = 296,8 + j96,7 + 0,7 - j77,18 = 297,5 + j19,5 (\text{МВ} \cdot \text{А}).$$

Суммарные потери мощности, МВ·А:

- в продольных элементах

$$\Delta \dot{S}_{\text{прод}} = 0,15 + 0,05 + 0,28 + 1,48 + j(3,6 + 33,4 + 15,27) = 1,96 + j52,27$$

- в поперечных элементах

$$\Delta \dot{S}_{\text{попер}} = 0,86 + 0,62 - j(-75,59 - 77,18) = 1,48 - j152,77$$

Знак (–) перед реактивными поперечными потерями мощности означает, что генерация реактивной мощности ЛЭП перекрывает реактивные потери холостого хода трансформатора.

Определение потерь мощности в сети в режиме минимальных нагрузок выполняется аналогично. При этом значение нагрузки на стороне СН автотрансформатора составляет 50 % от мощности в максимальном режиме, т. е. $\dot{S}_{34}^K = (107 + j50) \text{ МВ} \cdot \text{А}$. На стороне НН автотрансформатора нагрузка в минимальном режиме составляет $\dot{S}_{35}^K = (40 + j10) \text{ МВ} \cdot \text{А}$. Результаты расчета потерь в минимальном режиме представлены на [рис. 2.4](#). Суммарные потери в минимальном режиме, МВ·А:

$$\Delta \dot{S}_{\text{прод}} = 0,47 + j12,77$$

$$\Delta \dot{S}_{\text{попер}} = 1,48 - j152,77$$

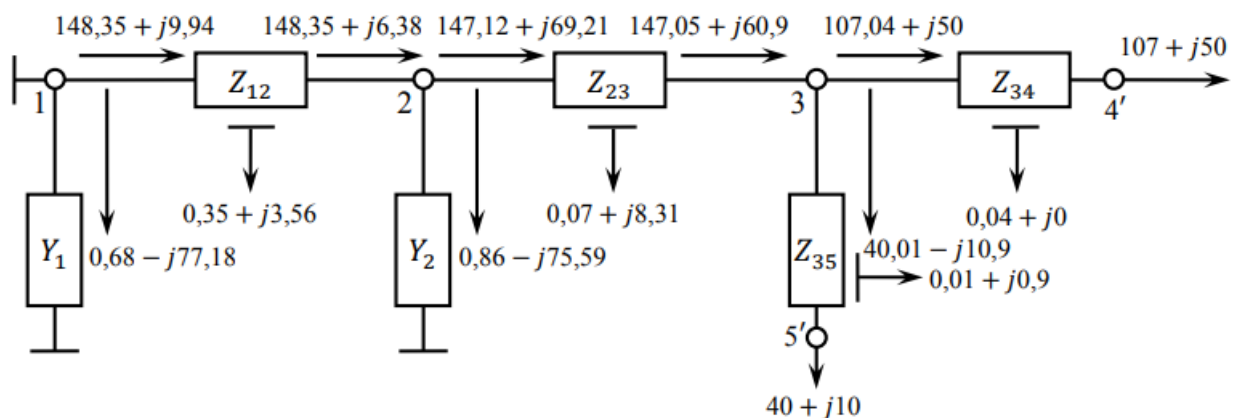


Рисунок 2.4 Потери мощности в минимальном режиме

Как видно из расчетов, активные потери мощности в поперечных элементах сети в максимальном и минимальном режимах одинаковы, т. е. постоянны. Величина постоянных потерь активной энергии в сети за год, обусловленная потерями активной мощности в поперечных проводимостях \hat{Y}_1 и \hat{Y}_2 , равна:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{попер}} T_{\Gamma} = 1,48 \cdot 8760 = 12964,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 12964800 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Что касается переменных потерь активной энергии в сети, то их величина может быть вычислена точно — в соответствии с суточным графиком нагрузок, или приближенно — с использованием времени максимальных потерь τ и потерь мощности в максимальном режиме $\Delta P_{\text{прод}}$.

Согласно графику нагрузки (рис. 2.2) продолжительность существования максимума нагрузки в течение суток составляет $t_{\max} = 10$ ч; в остальные $t_{\min} = 14$ ч — нагрузка равна минимальной. Тогда точная величина переменных потерь активной энергии за одни сутки составит:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{перем.сут}} = 1,96 \cdot 10 + 0,47 \cdot 14 = 26,18 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 26180 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Следовательно, за год точное значение переменных потерь активной энергии равно

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{перем.год}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{перем.сут}} \cdot 365 = 26180 \cdot 365 = 9555700 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

С использованием суточного графика нагрузки определено число часов использования максимума нагрузки за сутки,

$$T_{\text{сут}} = \frac{P_{\max} t_{\max} + P_{\min} t_{\min}}{P_{\max}} = \frac{1 \cdot 10 + 0,5 \cdot 14}{1} = 17 \text{ ч}$$

Годовые значения числа часов использования максимальной мощности нагрузки и числа часов максимальных потерь составят соответственно:

$$T_{\max} = T_{\text{сут}} \cdot 365 = 17365 = 6205 \text{ ч}$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{6205}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4855 \text{ ч}$$

Тогда приближенное значение годовых потерь активной энергии

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{перем.год}} = \Delta P_{\max} \cdot \tau = 1,96 \cdot 4855 \cdot 10^3 = 9515800 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

что весьма близко совпадает с результатом, полученным точно.

Задача 2

Определить потери энергии за год в трансформаторах типа 2ТРДН–10000/110, $T_{max} = 6000$ ч, нагрузка в максимальном режиме $\dot{S}_{нагр} = (15 + j10)$ МВ · А. Каталожные данные: $\Delta P_{кз} = 60$ кВт, $\Delta P_{xx} = 18$ кВт.

Решение задачи

Определение годового числа часов максимальных потерь, τ :

$$\tau = (0,124 + 6000/10^4) \cdot 8760 = 4592 \text{ ч}$$

Потери энергии за год $\Delta \mathcal{E}_{год}$:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E}_{год} &= n \cdot \Delta P_{xx} \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \left(\frac{S_{нагр. max}}{S_{ном. тр}} \right)^2 \tau = \\ &= 2 \cdot 18 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot \left(\frac{15^2 + 10^2}{10^2} \right) \cdot 4592 = 315360 + 447720 \\ &= 763080 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 763 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$