

Содержание

Задача №1	3
Задача №2	7
Задача №3	10
Список использованных источников	14

Задача №1

Определить параметры схемы замещения воздушной линии электропередачи. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1- Исходные данные к задаче №1

Вариант	Номинальное напряжение	Тип линии	Протяженность, км	Тип опор	Расположение проводов	Расстояние между проводами, м
3	110	АС-185/29	56	ПБ 110-15	горизонтальное	4

Решение

Схемой замещения - называют графическое изображение электрической цепи, показывающее последовательность соединения ее участков и отображающее свойства рассматриваемой цепи.

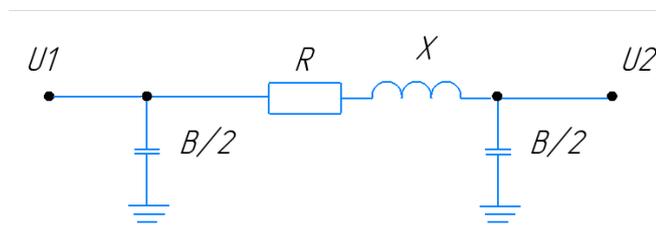


Рисунок 1- Схема замещения рассматриваемой ВЛ

1. Активное сопротивление линии (R) обусловлено потерями активной мощности на нагрев провода. Зависит от материала провода, сечения и длины и не очень зависит от температуры, т.к. ее влияние учесть практически невозможно из-за постоянного изменения нагрузки и температуры воздуха. Поэтому в расчете $t=20^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2- Характеристика АС-185/29

d, мм	18,8
R _o , Ом/км	0,162

$$R = \frac{R_o \cdot l}{k} \text{ (Ом)}$$

Где k – количество цепей;

R_o – удельное сопротивление провода на 1 км, находим по табл. [с.362 т.П1-2, Боровиков, с.441, т.8.45 Справочник по эл.установкам высокого напряжения. Под.ред.И.А.Баумштейна], Ом/км;

ℓ – длина линии, км.

$$R = \frac{0,162 \cdot 56}{1} = 8,91 \text{ Ом}$$

2. Реактивное (индуктивное) сопротивление линии (X), создается магнитным полем, образующимся вокруг проводников линии при прохождении переменного тока, Ом:

$$X = \frac{X_o \cdot l}{k} \text{ (Ом)}$$

где X_o – удельное индуктивное сопротивление:

$$X_o = 0,144 \cdot \lg \frac{2 \cdot D_{cp.z}}{d} + 0,0157 \text{ Ом/км}$$

где D_{ср.г} – среднегеометрическое расстояние между фазами, данное значение в м · 10³.

$$X_o = 0,144 \cdot \lg \frac{2 \cdot 4}{18,8} + 0,0157 = 0,69 \text{ Ом/км}$$

$$X = \frac{0,69 \cdot 56}{1} = 38,64 \text{ Ом}$$

3. Реактивная (емкостная) проводимость линии (B) - обусловлена наличием емкости между проводами фаз и емкости фаз относительно земли (учитывается для ВЛ 110 кВ и выше).

Любую пару проводов ВЛ и КЛ, а также каждый провод и землю

можно рассматривать как конденсатор с соответствующей емкостью. Под действием приложенного к линии переменного напряжения в емкости линии возникает переменное электрическое поле и соответствующий емкостный переменный ток. Этот ток называется – зарядным ток линии I_B .

$$B = B_0 \cdot l \quad (\text{См}),$$

где B_0 - удельная емкостная проводимость линии, на 1 км, См/км.:

$$B_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{2 \cdot D_{cp.2}}{d}}; \quad (\text{См/км})$$

При П-образной схеме замещения линии вся емкостная проводимость линии условно сосредоточена по концам схемы и, следовательно проводимость на концах схемы замещения равна $B/2$.

Наличие емкостной проводимости позволяет условно рассматривать ВЛ и КЛ как источник реактивной мощности.

$$B_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{2 \cdot 4}{18,8}} = 2,04 \cdot 10^{-3} \text{См}$$

$$B = 2,04 \cdot 10^{-3} \cdot 56 = 114,24 \text{ мкСм}$$

4. Зарядная мощность ($Q_{зар}/2$) на одном конце линии

Для большинства расчетов с сетях 110-220 кВ линии электропередачи обычно представляются схемой замещения рисунок . В этой схеме вместо емкостной проводимости учитывается реактивная мощность, генерируемая емкостью линий. Половина емкостной мощности линии, $M_{вар}$, по концам П-образной схемы замещения, равна:

$$\frac{Q_{зар}}{2} = \frac{U_{ном}^2 \cdot k \cdot B}{2}, \quad (\text{МВ} \cdot \text{Ар})$$

где: k – количество цепей;

l – длина линии, км;

U_n – рабочее напряжение линии, кВ.

$$\frac{Q_{зар}}{2} = \frac{110^2 \cdot 1 \cdot 0,00011424}{2} = 0,69 \text{ МВ} \cdot \text{Ар}$$

5. Строим схему замещения и наносим на нее расчетные значения.

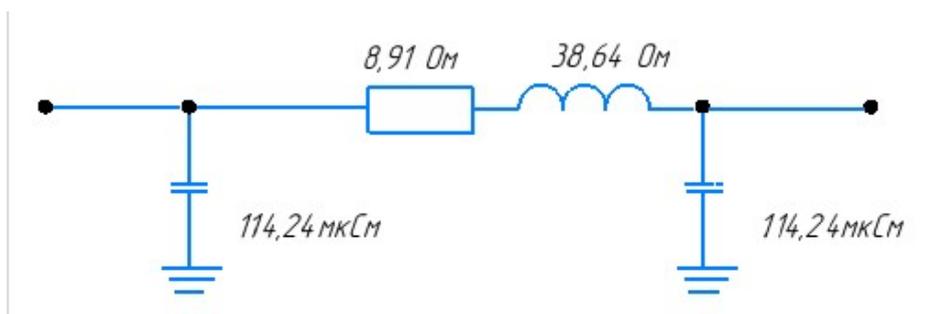


Рисунок 2

Задача №2

Определить параметры упрощенной схемы замещения трансформатора.
Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 3-Исходные данные к задаче №2

Вариант	Номинальное напряжение ВН	Тип трансформатора	Дополнительные данные для расчета
3	220	ТДТН-25000	$U_{ВН}=35кВ, U_{ВН}=10кВ$

Решение

ТДТН: трехфазный с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла; трехобмоточный с регулированием напряжения под нагрузкой на стороне ВН;

Определяем каталожные данные трансформатора:

$S_{НОМ} = 25000$ кВА, $U_{НОМ} = 220$ кВ, $u_{кВС} = 10,5\%$, $u_{кВН} = 17,5\%$, $u_{кСН} = 6,5\%$,
 $\Delta P_{к} = 140$ кВт, $I_{x} = 0,7\%$, $\Delta P_{x} = 31$ кВт.

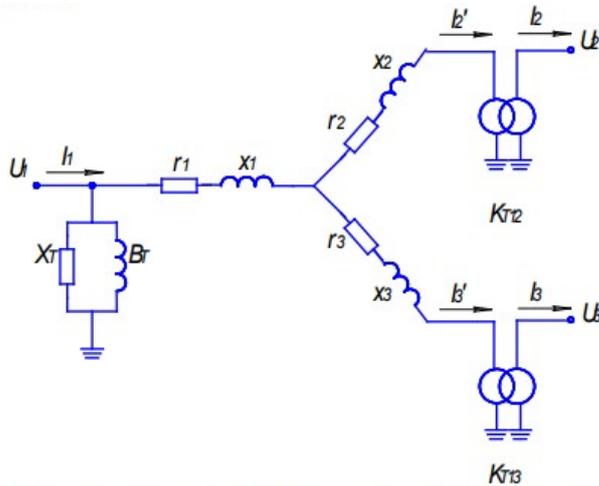


Рисунок 3- Полная схема замещения трехобмоточного трансформатора

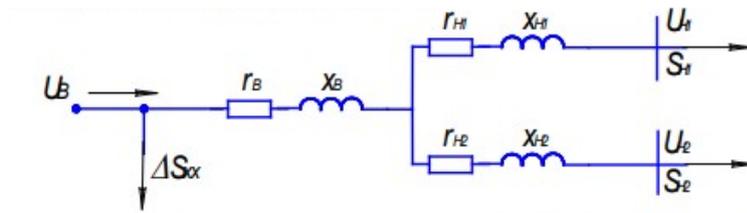


Рисунок 4-Упрощенная схема замещения трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения на две ветви

1. Определяем общее активное сопротивление трансформатора

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2} \cdot 10^3$$

где ΔP_k - потери активной мощности в режиме короткого замыкания (КЗ), кВт;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение, кВ;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$R_{общmp} = \frac{140 \cdot 220^2}{25000^2} \cdot 10^3 = 10,84 \text{ Ом}$$

2. Определяем индуктивные сопротивления

$$X_B = \frac{0,5 \cdot (U_{кBC} + U_{кBH} - U_{кCH})}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} \cdot 10^3$$

$$X_B = \frac{0,5 \cdot (U_{кBC} + U_{кCH} - U_{кBH})}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} \cdot 10^3$$

$$X_B = \frac{0,5 \cdot (U_{кBH} + U_{кCH} - U_{кBC})}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} \cdot 10^3$$

$$X_e = \frac{0,5 \cdot (10,5 + 17,5 - 6,5)}{100} \cdot \frac{220^2}{25000} \cdot 10^3 = 208,12 \text{ Ом}$$

$$X_c = \frac{0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5)}{100} \cdot \frac{220^2}{25000} \cdot 10^3 = 4,84 \text{ Ом}$$

$$X_H = \frac{0,5 \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5)}{100} \cdot \frac{220^2}{25000} \cdot 10^3 = 130,68 \text{ Ом}$$

3. Активная проводимость

$$G_{mp} = \frac{\Delta P_x}{U_{ном}^2} \cdot 10^{-3}$$

где ΔP_x - потери активной мощности в режиме холостого хода (XX), кВт.

$$G_{mp} = \frac{31}{220^2} \cdot 10^{-3} = 0,64 \cdot 10^{-3}$$

4. Реактивная проводимость

$$\Delta Q_x = \frac{I_x}{100} \cdot S_{ном}$$

где I_x - ток холостого хода, отнесенный к номинальному току, %.

$$\Delta Q_x = \frac{0,7}{100} \cdot 25000 = 175$$

Задача №3

Для ЛЭП на рисунке 5 составить схему замещения, определить потери мощности и электроэнергии. Индуктивное сопротивление принять 0,42 Ом/км. Исходные данные приведены в таблице 4.

Таблица 4-Исходные данные к задаче 3

Вариант	$U_{ном},$ кВ	$R_0,$ Ом/км	$T_{общ},$ ч	$L_1,$ км	$L_2,$ км	$L_3,$ км	$S_B,$ МВА	$S_C,$ МВА	$S_D,$ МВА	Стоимости 1кВт*ч потерянной электроэнергии, коп
3	35	0.25	6000	7	4,5	3	$7,2+j3$	$4,8+j2,8$	$6,4+j3,6$	1,7

Решение

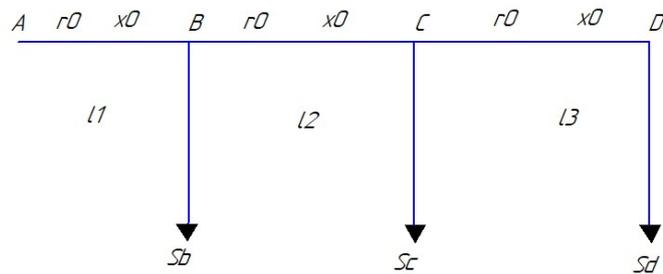


Рисунок 5-Схема магистральной ЛЭП

1. Определяем активные потери мощности линии:

$$\Delta P = \left(\frac{S \cdot 10^3}{U} \right)^2 \cdot R, \text{ Вт}$$

$S = P / \cos\varphi$ - полная мощность

2. Определяем реактивные потери мощности линии:

$$\Delta Q = \left(\frac{S \cdot 10^3}{U} \right)^2 \cdot X, \text{ B} \cdot \text{Ap}$$

3. Определяем годовые активные потери энергии в линии:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 \text{ ч}$$

4. Определяем годовое количество энергии передаваемое по линии:

$$W = P \cdot T_{\max}, \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

5. Определяем годовые потери энергии в линии, выраженные в %:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100\%$$

Должно выполняться условие для выбранной марки провода по допустимой потере электрической энергии: $\Delta W_{\% \text{ расч}} \lesssim \lesssim$

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

$$\dot{S}_{34}^{\kappa} = 214 + j 100;$$

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

$$\dot{S}_{34}^{\text{H}} = \dot{S}_{34}^{\kappa} + \Delta \dot{S}_{34} = 214,15 + j 100;$$

$$\dot{S}_{35}^{\kappa} = 80 + j 20;$$

$$\Delta \dot{S}_{35} = \frac{80^2 + 20^2}{525^2} \cdot (1,98 + j 146) = 0,049 + j 3,6;$$

$$\dot{S}_{35}^{\text{H}} = \dot{S}_{35}^{\kappa} + \Delta \dot{S}_{35} = 80,05 + j 23,6;$$

$$\dot{S}_{23}^{\kappa} = \dot{S}_{34}^{\text{H}} + \dot{S}_{35}^{\text{H}} = 214,5 + j 100 + 80,05 + j 23,6 = 294,2 + j 123,6;$$

$$\Delta \dot{S}_{23} = \frac{294,2^2 + 123,6^2}{525^2} \cdot (0,74 + j 90,4) = 0,28 + j 33,4;$$

$$\dot{S}_{23}^{\text{H}} = \dot{S}_{23}^{\kappa} + \Delta \dot{S}_{23} = 294,5 + j 157;$$

$$\Delta \dot{S}_2 = \hat{Y}_2 U_2^2 = (3,13 - j 274,2) \cdot 10^{-6} \cdot 525^2 = 0,86 - j 75,6;$$

$$\dot{S}_{12}^{\kappa} = \dot{S}_{23}^{\text{H}} + \Delta \dot{S}_2 = 295,3 + j 81,4;$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{295,3^2 + 81,4^2}{525^2} \cdot (4,35 + j 44,85) = 1,5 + j 15,3;$$

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

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

Мощность, потребляемая из питающего данную сеть узла:

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

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. $\dot{S}_{34}^K = (107 + j50)$ МВ А. На стороне НН автотрансформатора нагрузка в минимальном режиме составляет $\dot{S}_{35}^K = (40 + j10)$ МВ А. Результаты расчета потерь в минимальном режиме представлены на рисунке 6.

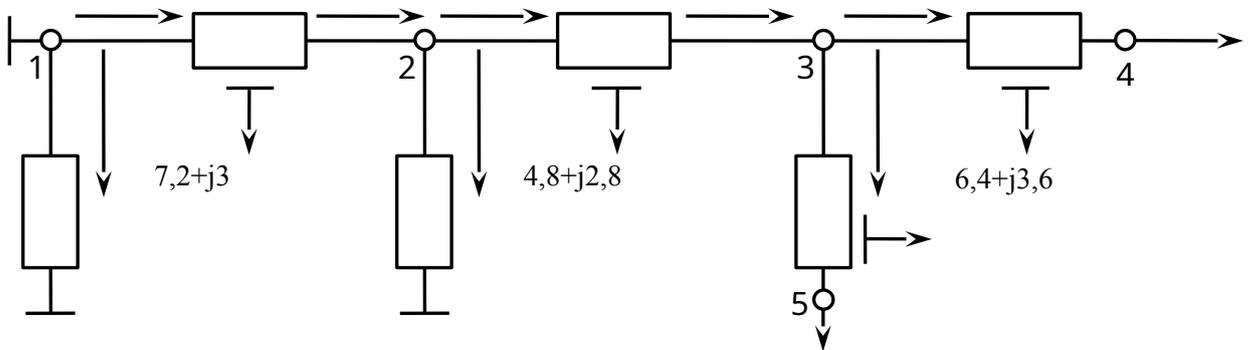


Рисунок 6-Схема замещения сети

Суммарные потери в минимальном режиме, МВ·А:

$$\Delta \dot{S}_{\text{прод}} = 0,47 + j12,77; \quad \Delta \dot{S}_{\text{попер}} = 1,48 - j152,77.$$

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:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ном}} = \Delta P_{\text{попер}} T_z = 1,7 \cdot 8760 = 12964,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 12964800 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

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 $\Delta P_{\text{прод}}$.

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

Следовательно, за год точное значение переменных потерь активной энергии равно

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

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

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

$$T_{\text{max}} = T_{\text{сут}} \cdot 365 = 17365 = 6205 \text{ ч}; \quad \tau = \left(0,124 + \frac{6205}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4855 \text{ ч}.$$

Тогда приближенное значение годовых потерь активной энергии $\Delta \mathcal{E}_{\text{перем.год}} = \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau = 1,96 \cdot 4855 \cdot 10^3 = 9515800 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, что весьма близко совпадает с результатом, полученным точно.

Следует заметить, что если требуется определить потери энергии только в трансформаторах, то удобно пользоваться каталожными данными трансформатора

Список использованных источников

1. Электроэнергетика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ О.В. Газизова, И.А. Дубина; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2019.
2. Боровиков, с.441, т.8.45 Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. Под. ред. И. А. Баумштейна.