

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 08.10.2022 20:47:43
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf27819536e001e9411e570e831f05c

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 30 » 08

2022 г.



Проектирование систем автоматизации электрической части АЭС

Методические указания к практическим занятиям для студентов
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и
электротехника»

Курск 2022 ____

УДК 621.31

Составители: Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»
В.И. Бирюлин

Проектирование систем автоматизации электрической части АЭС: методические указания к практическим занятиям для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Д.В. Куделина – Курск 2022. – 32 с.: ил. 6, табл. 2. – Библиогр.: с. 23.

Содержат методические указания для практических занятий по дисциплине «Проектирование систем автоматизации электрической части АЭС».

Методические указания соответствуют требованиям программы для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. 1,69 . Уч.–изд.л 1,53 . Тираж 100 экз. Заказ ~~1967~~ Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие №1. Расчет схем замещения элементов электрической сети.....	4
Практическое занятие №2. Расчет электрической сети с односторонним питанием.....	9
Практическое занятие №3. Расчет электрической сети с двухсторонним питанием.....	14
Практическое занятие №4. Расчет кольцевой электрической сети с односторонним питанием.....	16
Библиографический список.....	22
Приложения.....	23

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Расчет схем замещения элементов электрической сети

Задание 1. Определим удельные параметры воздушной и кабельной линий электропередачи напряжением 10 кВ, а также параметры схемы замещения этих линий при их длине 4 км. Воздушная линия выполнена проводами АС 50/8,0 при среднегеометрическом расстоянии между ними 1м, кабельная линия - кабелем ААБ 3х50 при среднегеометрическом расстоянии между жилами кабеля 1,3 см. Максимальная мощность, передаваемая по воздушной линии, составляет 1000 кВА, по кабельной -1600 кВ·А.

Для провода марки АС 50/8,0 $r_{0в}=0,603$ Ом/км; диаметр провода 9,6 мм. Для кабеля марки ААБ 3х50 $r_{0к}=0,62$ Ом/км; диаметр жилы кабеля $2r_k=6,4$ мм.

Используя выражение (2.3), при подстановке в него значений D_{cp} и r_{np} находим

$$x_{0в} = 0,144 \lg \frac{100}{0,48} + 0,0157 = 0,35 \text{ Ом/км};$$

$$x_{0к} = 0,144 \lg \frac{1,3}{0,32} + 0,0157 = 0,103 \text{ Ом/км},$$

где $x_{0в}, x_{0к}$ - удельные реактивные сопротивления воздушной и кабельной линий.

Можно непосредственно найти $x_{0в}=0,35$ Ом/км и $x_{0к}=0,09$ Ом/км.

Покажем, что для линий 10 кВ можно не учитывать реактивную проводимость и емкостную мощность. Определим $b_{0в}$ и $b_{0к}$ - удельные емкостные проводимости воздушной и кабельной линий:

$$b_{0в} = 7,58 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\lg(100/0,48)} = 3,27 \cdot 10^{-6} \text{ См/км};$$

$$b_{0к} = 7,58 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\lg(1,3/0,32)} = 12,45 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}.$$

Половины реактивных мощностей, генерируемых воздушной и кабельной линиями, в соответствии с выражением (2.8) равны

$$Q_{св} = \frac{1}{2} 10^2 \cdot 3,27 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 0,654 \cdot 10^{-3} \text{ Мвар};$$

$$Q_{ск} = \frac{1}{2} 10^2 \cdot 12,45 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 2,49 \cdot 10^{-3} \text{ Мвар}.$$

Так как емкостные мощности линий 10 кВ практически очень малы в сравнении с передаваемыми максимальными мощностями 1000 кВ·А и 1600 кВ·А, то их можно не учитывать в расчетах и в схеме замещения (см. рис. 1, в).

Отношение удельного индуктивного к удельному активному сопротивлению воздушной линии составляет

$$\frac{x_{0B}}{r_{0B}} = \frac{0,35}{0,603} = 0,58 .$$

В случае кабельной линии это отношение меньше:

$$\frac{x_{0K}}{r_{0K}} = \frac{0,103}{0,62} = 0,167 .$$

Активная проводимость линий напряжением 10 кВ очень мала и не учитывается в схеме замещения.

Следовательно, схема замещения воздушной линии состоит из активного сопротивления $r_{л.в}$ и реактивного сопротивления $x_{л.в}$ (рис. 1, в). Найдем

$$r_{л.в} = 0,603 \cdot 4 = 2,41 \text{ Ом}; \quad x_{л.в} = 0,35 \cdot 4 = 1,4 \text{ Ом}.$$

Поскольку индуктивное сопротивление кабеля намного меньше активного, им можно пренебречь и схема замещения кабельной линии будет состоять только из активного сопротивления $r_{л.к}$ (рис. 1, г), которое равно

$$r_{л.к} = 0,62 \cdot 4 = 2,48 \text{ Ом}.$$

Задание 2. Определим удельные параметры одноцепной воздушной линии 110 кВ с проводами марки АС 150/24, расположенными на П-образных деревянных опорах с расстоянием между проводами $D_{ab} = D_{bc} = D = 4$ м, и вычислим параметры схемы замещения двухцепной линии длиной 100 км.

Для провода марки АС 150/24 $r_0 = 0,198$ Ом/км; диаметр провода $2r_{np} = 17,1$ мм.

Расстояние между фазами a и c $D_{ac} = 2D = 8$ м. Среднегеометрическое расстояние между проводами линий (рис. 2, б) составляет

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}} = \sqrt[3]{DD2D} = \sqrt[3]{2D} = 1,26 \cdot 4 = 5,04 \text{ м}.$$

Находим

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{504}{0,855} + 0,0157 = 0,415 \text{ Ом/км};$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\lg(504/0,855)} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

Можно непосредственно найти для провода АС 150/24 искомые удельные параметры: $x_0 = 0,42 \text{ Ом/км}$; $b_0 = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$.

Отношение удельных активного и индуктивного сопротивлений в рассматриваемом случае равно

$$\frac{r_0}{x_0} = \frac{0,198}{0,42} = 0,471,$$

т. е. $r_0 < x_0$, что характерно для воздушных линий с $U_{ном} \geq 110 \text{ кВ}$.

Определение x_0, b_0 по табл. проще, чем их расчет по формулам. В дальнейшем будем использовать значения x_0, b_0 , определенные по табл.

Для двухцепной линии длиной 100 км найдем параметры схемы замещения:

$$r_\pi = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 100 = 9,9 \text{ Ом}; \quad x_\pi = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 100 = 21 \text{ Ом};$$

$$b_\pi = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 540 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

Половина зарядной мощности линии (см. рис. 1, б), определяемая

$$Q_c = \frac{1}{2} U_{ном}^2 b_\pi = \frac{1}{2} 110^2 \cdot 540 \cdot 10^{-6} = 3,267 \text{ Мвар.}$$

По табл. для двухцепной линии можно найти $2Q_c = 2 \cdot 3,6 \times 10^{-6} \cdot 100 = 7,2 \text{ Мвар}$. Такая мощность должна быть учтена в расчете режима линии, т.е. зарядная мощность воздушных линий 110 кВ должна учитываться в балансе реактивной мощности. Это заключение тем более справедливо для линий более высоких напряжений. Поэтому схема замещения рассматриваемой линии должна включать кроме активного и индуктивного сопротивления емкостную проводимость (см. рис. 1, а) или емкостную мощность (см. рис. 1, б).

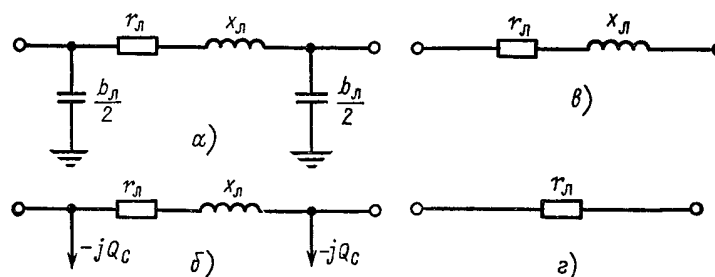


Рисунок 1. Схемы замещения линий электропередачи:

а, б-воздушная линия 110-330 кВ с емкостной проводимостью и реактивной мощностью, генерируемой емкостью линий; в-воздушная линия

$U_{ном} \leq 35$

кВ;

2-кабельная линия $U_{ном} \leq 10$ кВ

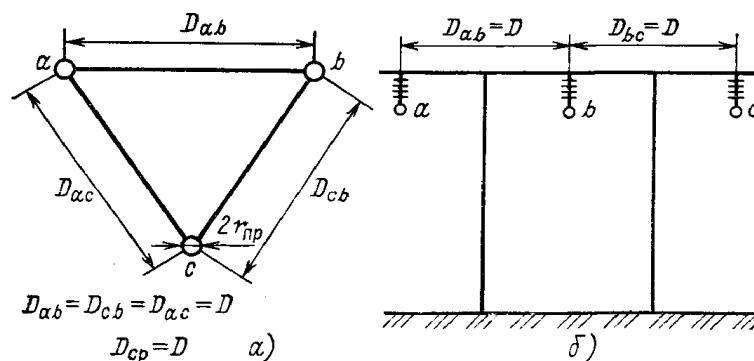


Рисунок 2. Расположение проводов линии электропередачи:

a - по углам равностороннего треугольника; *б* - при горизонтальном расположении фаз

Задание 3. Определим параметры схемы замещения двухобмоточного трансформатора типа ТМ-630/10, приведенные к номинальным напряжениям первичной и вторичной обмоток (рис. 3, б и в).

По табл. находим каталожные данные трансформатора:
 $S_{ном} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{в.ном} = 10 \text{ кВ}; U_{н.ном} = 0,4 \text{ кВ}; \Delta P_{к} = 8,5 \text{ кВт}; \Delta P_{x} = 1,65 \text{ кВт}; u_{к} \% = 5,5 \% ; I_{x} \% = 3 \%$.

При подстановке напряжения в киловольтах, а мощностей - в мегавольт-амперах (мегаваттах) значения сопротивлений получим в омах, а проводимостей - в сименсах, что учтено в дальнейшем расчете. Рассчитаем активные сопротивления трансформатора r_T и r_T^H , отнесенные к номинальным напряжениям первичной обмотки (10 кВ) и вторичной обмотки (0,4 кВ). При расчете r_T , приведенного к стороне высшего напряжения, подставим $U_{в.ном} = 10$ кВ; при расчете r_T^H , приведенного к стороне низшего напряжения, подставим $U_{н.ном} = 0,4$ кВ:

$$r_T = \frac{\Delta P_{к} U_{в.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2}{0,63^2} = 2,14 \text{ Ом};$$
$$r_T^H = \frac{\Delta P_{к} U_{н.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{0,63^2} = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Для определения индуктивных сопротивлений обмоток для трансформаторов малой мощности надо использовать $u_{к}^H \%$, которое

не равно $u_k\%$. Поэтому предварительно находим $u'_k\%$ и затем $u''_k\%$:

$$\begin{aligned} u'_k\% &= \frac{\sqrt{3}I_{ном}r_T}{U_{ном}}100 = \frac{S_{ном}r_T}{U_{ном}^2}100 = \\ &= \frac{\Delta P_\kappa}{S_{ном}}100 = \frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{0,63}100 = 1,35\%. \end{aligned}$$

В последнем выражении

$$u''_k\% = \sqrt{u_k^2\% - (u'_k\%)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,33\%.$$

Подставим $u''_k\%$ и найдем x_T , и x_T'' :

$$\begin{aligned} x_T &= \frac{u''_k\%/U_{в.ном}^2}{100S_{ном}} = \frac{5,33 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,63} = 8,46 \text{ Ом}; \\ x_T'' &= \frac{u''_k\%/U_{н.ном}^2}{100S_{ном}} = \frac{5,33 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 0,63} = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Активные проводимости намагничивания

$$\begin{aligned} g_T &= \frac{\Delta P_x}{U_{в.ном}^2} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{10^2} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ См}; \\ g_T'' &= \frac{\Delta P_x}{U_{н.ном}^2} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{0,4^2} = 1,03 \cdot 10^{-2} \text{ См}. \end{aligned}$$

Реактивные проводимости намагничивания:

$$\begin{aligned} b_T &= \frac{I_x\%/S_{ном}}{100U_{в.ном}^2} = \frac{3 \cdot 0,63}{100 \cdot 10^2} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ См}; \\ b_T'' &= \frac{I_x\%/S_{ном}}{100U_{н.ном}^2} = \frac{3 \cdot 0,63}{100 \cdot 0,4^2} = 0,12 \text{ См}. \end{aligned}$$

Для трансформаторов при напряжении менее или равном 220 кВ допустимо использование схемы замещения, где ветвь намагничивания замещена мощностью потерь холостого хода:

$$\Delta S_x = \Delta P_x + j\Delta Q_x,$$

потери реактивной мощности определим по (2.11):

$$\Delta Q_x = \frac{3 \cdot 0,63}{100} 0,0189 \text{ Мвар},$$

тогда

$$\Delta S_x = (1,65 + j18,9)10^{-3} \text{ МВ.А.}$$

По табл. можно непосредственно найти r_T, x_T , приведенные к стороне ВН, и ΔQ_x :

$$r_T = 2,12 \text{ Ом}; \quad x_T = 8,5 \text{ Ом}; \quad \Delta Q_x = 0,0189 \text{ Мвар}.$$

Определение по таблице проще, чем расчет по формулам.

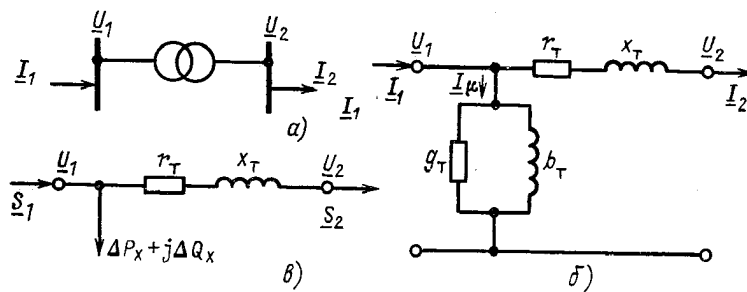


Рисунок 3. Двухобмоточный трансформатор
 а-условное обозначение; б-Г-образная схема замещения; в-
 упрощенная схема замещения

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Расчет электрической сети с односторонним питанием

Задание 4. Рассчитаем рабочие режимы линий питающей сети (рис. 4).

Мощности нагрузок на стороне ВН трансформаторов

$$\underline{S}_2 = 22,13 + j18,35 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad \underline{S}_3 = 17,11 + j14,45 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$\underline{S}_4 = 41,21 + j34,72 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Длины линий и марки использованных проводов указаны на схеме. Напряжение в ЦП поддерживается равным 117,7 кВ. По табл. находим удельные сопротивления проводов АС 240/32, АС 150/24, АС 120/19, удельные емкостные проводимости и определяем активные и реактивные сопротивления и проводимости двухцепных линий:

$$r_{12} = 0,5 \cdot 0,12 \cdot 22,5 = 1,35 \text{ Ом}; \quad x_{12} = 0,5 \cdot 0,405 \cdot 22,5 = 4,56 \text{ Ом};$$

$$b_{12} = 2 \cdot 2,81 \cdot 10^{-6} \cdot 22,5 = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ См};$$

$$r_{23} = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 22,5 = 2,23 \text{ Ом}; \quad x_{23} = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 22,5 = 4,72 \text{ Ом};$$

$$b_{23} = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 22,5 = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ См};$$

$$r_{34} = 0,5 \cdot 0,249 \cdot 30 = 3,74 \text{ Ом}; \quad x_{34} = 0,5 \cdot 0,427 \cdot 30 = 6,4 \text{ Ом};$$

$$b_{34} = 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ См}.$$

Составим схему замещения линии (рис. 5,з). Поскольку в местах подключения нагрузок напряжения неизвестны, а известно напряжение в начале линии, расчет проведем в два этапа.

1-й этап. Емкостные мощности, потери и потоки мощности определим по номинальному напряжению. Реактивная мощность, генерируемая линией 34,

$$Q_{C34} = \frac{1}{2} U_{\text{ном}}^2 b_{34} = \frac{1}{2} 110^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,97 \text{ Мвар}.$$

Мощность в конце линии 34

$$\underline{S}_{34}^k = \underline{S}_4 - jQ_{C34} = 41,21 + j34,72 - j0,97 = 41,21 + j33,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Потери мощности в линии 34:

$$\begin{aligned} \Delta \underline{S}_{34} &= \frac{(P_{34}^k)^2 + (Q_{34}^k)^2}{U_{\text{ном}}^2} (r_{34} + jx_{34}) = \\ &= \frac{41,21^2 + 33,75^2}{110^2} (3,74 + j6,4) = 0,88 + j1,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Мощность в начале линии 34

$$\underline{S}_{34}^h = \underline{S}_{34}^k + \Delta \underline{S}_{34} = 41,21 + j33,75 + 0,88 + j1,5 = 42,09 + j35,25 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогично проведем расчеты для линий 23 и 12:

$$Q_{C23} = \frac{1}{2} 110^2 \cdot 1,22 \cdot 10^{-4} = 0,74 \text{ Мвар};$$

$$S_{23}^K = S_{34}^H - jQ_{C34}^H + S_3 - jQ_{C23}^K = 42,09 + j35,25 - j0,97 + 17,11 + \\ + j14,45 - j0,74 = 59,2 + j48 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$\Delta S_{23} = \frac{(P_{23}^K)^2 + (Q_{23}^K)^2}{U_{НОМ}^2} (r_{23} + jx_{23}) = \\ = \frac{59,2^2 + 48^2}{110^2} (2,23 + j4,72) = 1,07 + j2,27 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{23}^H = S_{23}^K + \Delta S_{23} = 59,2 + j48 + 1,07 + j2,27 = 60,27 + j50,27 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$Q_{C12} = \frac{1}{2} 110^2 \cdot 1,264 \cdot 10^{-4} = 0,76 \text{ Мвар};$$

$$S_{12}^K = S_{23}^H - jQ_{C23}^H + S_2 - jQ_{C12}^K = \\ = 60,27 + j50,27 - j0,74 + 22,13 + j18,35 - j0,76 = \\ = 82,4 + j67,12 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$\Delta S_{12} = \frac{(P_{12}^K)^2 + (Q_{12}^K)^2}{U_{НОМ}^2} (r_{12} + jx_{12}) = \\ = \frac{82,4^2 + 67,12^2}{110^2} (1,35 + j4,56) = 1,26 + j4,26 \text{ МВ}\cdot\text{А}$$

$$S_{12}^H = S_{12}^K + \Delta S_{12} = 82,4 + j67,12 + 1,26 + j4,25 = 83,66 + j71,37 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Мощность, текущая с шин ЦП в линию 12,

$$S_1 = S_{12}^H - jQ_{C12} = 83,66 + j71,37 - j0,76 = 83,66 + j70,61 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

2-й этап. Определим напряжения в узлах.

Напряжение U_2 Определим:

$$\Delta U_{12}^H = \frac{P_{12}^H r_{12} + Q_{12}^H x_{12}}{U_1} = \frac{83,66 \cdot 1,35 + 71,37 \cdot 4,56}{117,7} = 3,72 \text{ кВ};$$

$$\delta U_{12}^H = \frac{P_{12}^H x_{12} - Q_{12}^H r_{12}}{U_1} = \frac{83,66 \cdot 4,56 - 71,37 \cdot 1,35}{117,7} = 2,42 \text{ кВ};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^H - j\delta U_{12}^H = 117,7 - 3,72 - j2,42 \approx 114 - j2,42 \text{ кВ}.$$

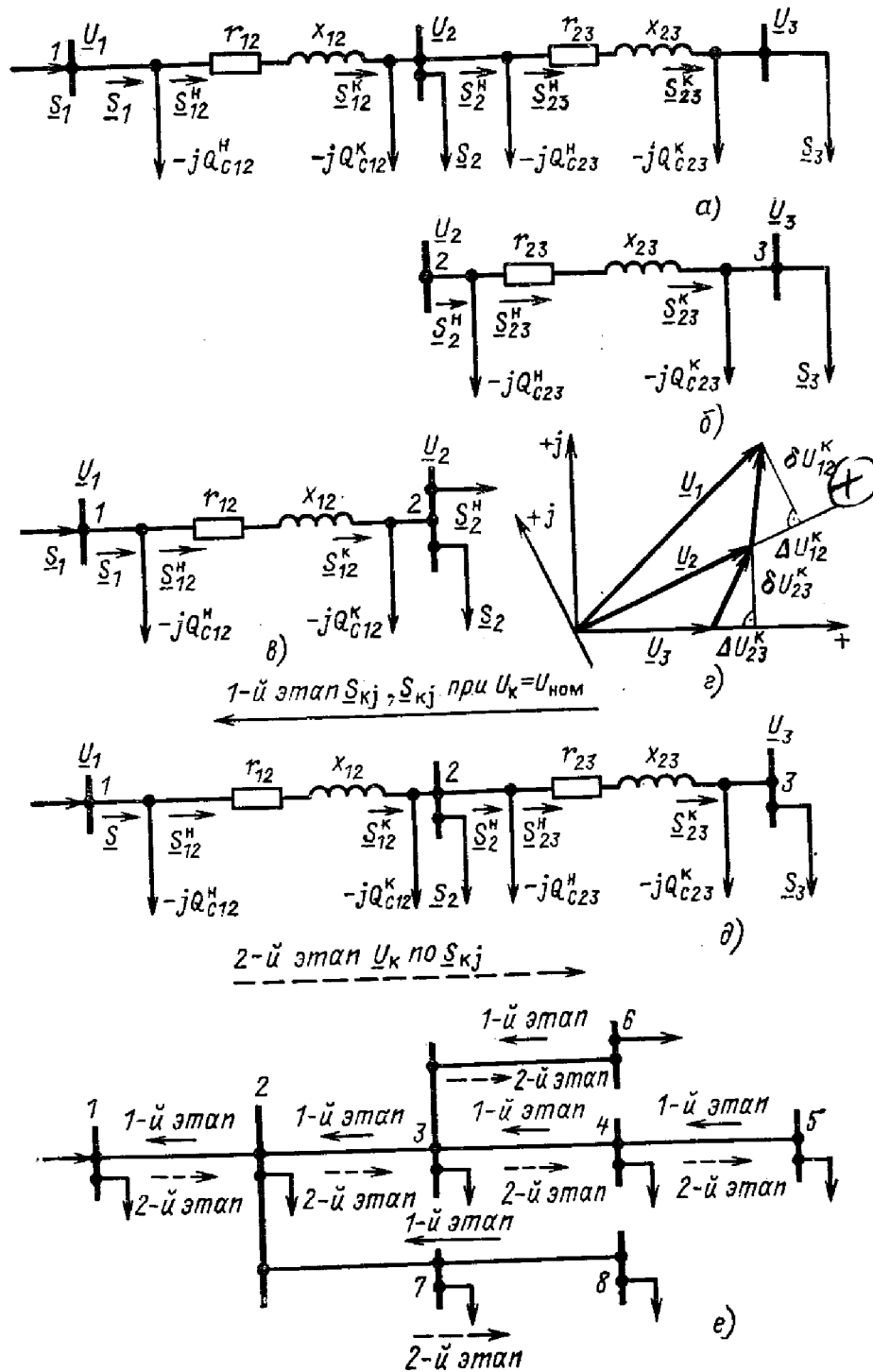
Определим модуль напряжения:

$$U_2 = \sqrt{114^2 + 2,42^2} = 114 \text{ кВ}.$$

В сетях с напряжением 110 кВ и ниже поперечной составляющей падения напряжения можно пренебречь. Ее учет заметно не сказывается на точности расчета режима сети. Так, в рассматриваемом примере, если учесть только продольную составляющую падения напряжения, напряжение в узле 2 будет

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^H = 117,7 - 3,72 \approx 114 \text{ кВ},$$

т. е. ошибка в определении U_2 не превышает погрешности округления. В дальнейшем поперечной составляющей падения напряжения пренебрегаем.



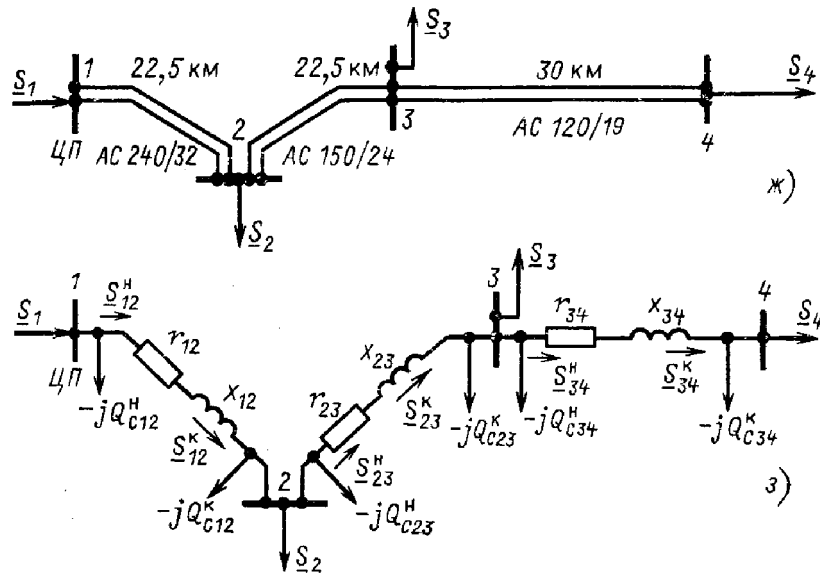


Рисунок 4. Расчет режима разомкнутой питающей сети:
а—схема замещения; *б*—схема замещения линии 23, *в*—схема замещения линии 12; *г*—векторная диаграмма напряжений; *д*—последовательность расчета в два этапа для двух линий; *е*—то же для разветвленной сети; *ж*—схема сети из трех линий; *з* — схема замещения сети из трех линий

Определим напряжения в узлах 3, 4:

$$\Delta U_{23}^H = \frac{P_{23}^H r_{23} + Q_{23}^H x_{23}}{U_2} = \frac{60,27 \cdot 2,23 + 50,27 \cdot 4,72}{114} = 3,26 \text{ кВ}$$

$$U_3 = 114 - 3,26 \approx 110,7 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{34}^H = \frac{P_{34}^H r_{34} + Q_{34}^H x_{34}}{U_3} = \frac{42,09 \cdot 3,74 + 35,25 \cdot 6,4}{110,7} = 3,45 \text{ кВ.}$$

$$U_4 = 110,7 - 3,45 \approx 107,2 \text{ кВ.}$$

Расчет окончен, проведение второй итерации не приводит к существенным уточнениям.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Расчет электрической сети с двухсторонним питанием

Задание 5. Сеть (рис. 5, *и*) напряжением 110 кВ связывает электростанцию 1 с понижающими подстанциями 2, 3, имеющими расчетные нагрузки $S_2 = 38,16 + j29,17$ МВ·А и $S_3 = 39,2 + j32,89$ МВ·А. Марки проводов, длины линий указаны на рисунке. Сопротивления их равны: $Z_{12} = 3,6 + j12,15$ Ом; $Z_{23} = 9,84 + j10,21$ Ом; $Z_{13} = 8,1 + j20,65$ Ом. Напряжение на шинах электростанции равно 117,7 кВ. Определим мощность, которая поступает с шин электростанции. Расчет проведем без учета потерь мощности.

Составим схему замещения сети в виде линии с двухсторонним питанием, разрезая кольцо в узле 1.

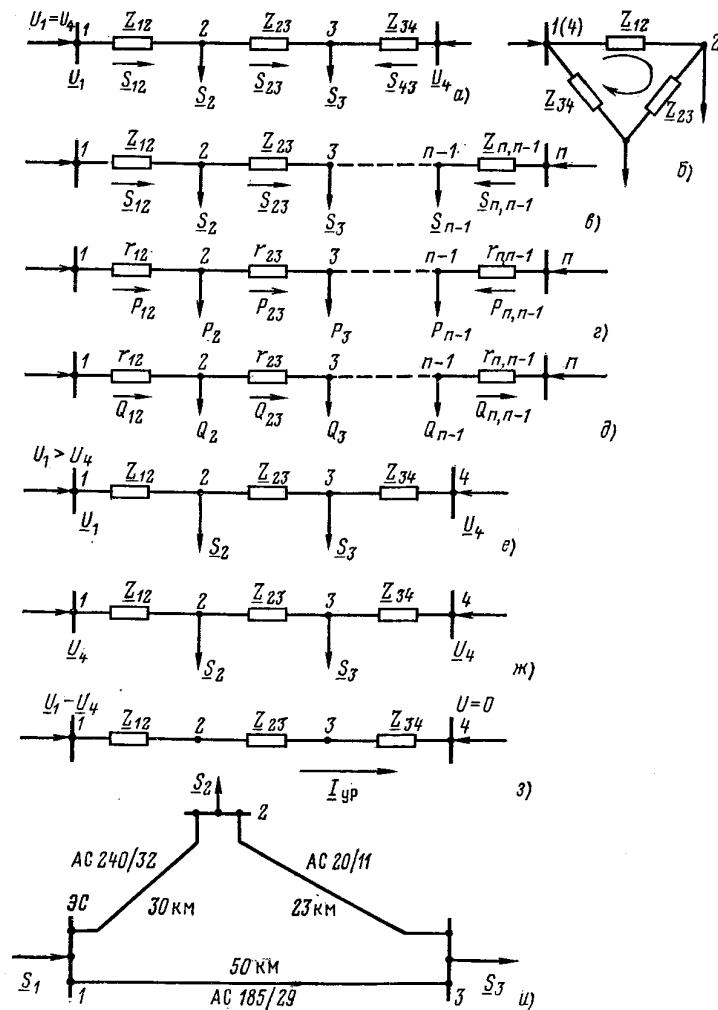


Рисунок 5. Распределение потоков мощности в линии с двухсторонним питанием без учета потерь мощности:

a—схема замещения линии с четырьмя узлами; *б*—иллюстрация второго закона Кирхгофа; *в*—линия с *n* узлами; *г, д*—распределение *P* и *Q* в однородной линии; *е*—линия с четырьмя узлами при $u_1 > u_4$; *ж, з*—эквивалентное представление линии на рис. *е*; *и*—схема кольцевой сети 110 кВ.

Определим приближенное потокораспределение в кольце с целью выявления точки потокораздела:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{12} &= \frac{(36,18 + j29,17)(9,84 - j10,21 + 8,1 - j20,65) +}{3,6 - j12,15 + 9,84 - j10,21 +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{+(39,2 + j32,89)(8,1 - j20,65)}{+ 8,1 - j20,65} = 44,82 + j36,75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; \\ \underline{S}_{43} &= \frac{(39,2 + j32,89)(9,84 - j10,21 + 3,6 - j12,15) +}{3,6 - j12,15 + 9,84 - j10,21 +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{+(36,18 + j29,17)(3,6 - j12,15)}{+ 8,1 - j20,65} = 30,56 + j25,31 \text{ МВ}\cdot\text{А}. \end{aligned}$$

Проверим правильность определения потоков мощности на ГОЛОВ-

НЫХ ЛИНИЯХ КОЛЬЦА ПО УСЛОВИЮ $\underline{S}_{12} + \underline{S}_{43} = \underline{S}_2 + \underline{S}_3$:

$$44,82 + j36,75 + 30,56 + j25,31 = 75,38 + j62,06 .$$

Значения \underline{S}_{12} и \underline{S}_{43} определены верно. Находим поток мощности в линии 23 по первому закону Кирхгофа для узла 2:

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_2 = 44,82 + j36,75 - (36,18 + j29,17) = 8,64 + j7,58 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Узел 3 — точка потокораздела активной и реактивной мощности. Мощность, поступающая с шин электростанции и определенная без учета потерь мощности, равна

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_{12} + \underline{S}_{43} = 75,38 + j62,06 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

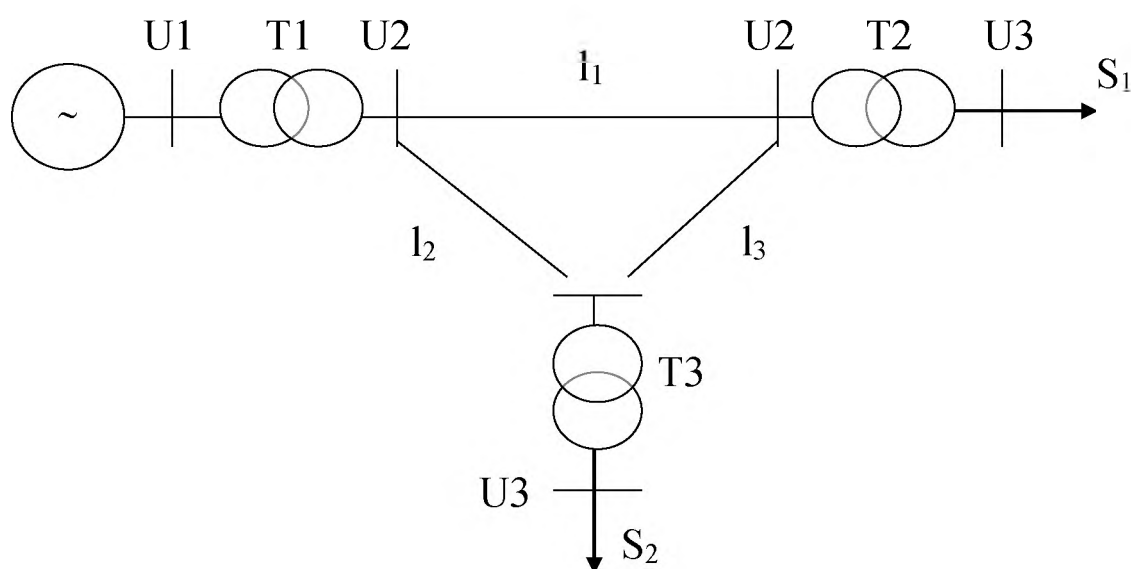
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Расчет кольцевой электрической сети с односторонним питанием

Задание 6. Выполнить электрический расчет сети, изображенной на рисунке 6.

Параметры сети даны в таблицах 6.1 и 6.2.

Выбрать трансформаторы, провода воздушных линий, определить мощность источника питания, рассчитать потери мощности в трансформаторах и линиях электропередачи.



T1, T2, T3 - трансформаторные подстанции (двухтрансформаторные);

l1, l2, l3 - воздушные линии;

U1, U2, U3 - напряжения на шинах подстанций;

S1, S2 - мощности нагрузок

Рисунок 6 Схема электрической сети к задаче.

Таблица 6.1. Исходные данные к задаче

№ вариант а (последняя цифра шифра)	U1	U2	U3	S1	S2
	кВ	кВ	кВ	МВА	МВА
0	11	110	10	25+j10	15+j5
1	13	220	10.5	40+j15	35+j20
2	11	121	6	17+j5	15+j8
3	24	330	6	70+j20	80+j35
4	11	115	10.5	10+j5	20+j5
5	13	121	11	15+j8	18+j8
6	18	330	10.5	90+j30	85+j20
7	14	115	10	20+j8	25+j7
8	15	121	35	23+j9	30+j5
9	21	220	11	60+j15	55+j17

Таблица 6.2. Исходные данные к задаче

№ варианта (предпоследняя цифра шифра)	L1	L2	L3
	км	км	км
0	60	40	50
1	150	200	100
2	40	10	20
3	200	100	150
4	20	60	15
5	50	50	50
6	150	250	200
7	35	70	25
8	90	40	20
9	70	110	40

1. Выбор трансформатора.

$$S_i = P_i + jQ_i;$$

$$|S_2| = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{4900 + 400} = 72,8;$$

$$|S_3| = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} = \sqrt{6400 + 1225} = 87,32;$$

$$S_{mpi} = \frac{|S_i|}{2};$$

$$S_{mp2} = \frac{|S_2|}{2} = \frac{72,8}{2} = 36,4;$$

$$S_{mp3} = \frac{|S_3|}{2} = \frac{87,32}{2} = 43,66;$$

$$\frac{|S_i|}{S_{инно}} \leq 1,35 - 1,4;$$

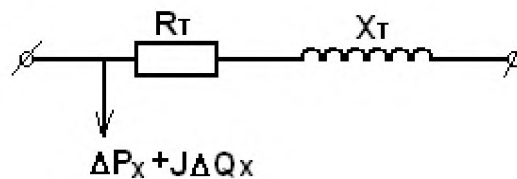
$$\frac{|S_2|}{S_{2ном}} = \frac{72,8}{63} = 1,16;$$

$$\frac{|S_3|}{S_{3ном}} = \frac{87,32}{63} = 1,39;$$

Исходя из расчётных параметров находим, трансформатор, который удовлетворяет исходным данным. Для обоих нагрузок подходит трансформатор ТРДЦН-63000/110.

2. Рассчитаем потери мощности в трансформаторах.

Схема замещения трансформатора.



где: $\square P$ – потеря активной мощности; $\square Q$ – потеря реактивной мощности.

$$\Delta P_{Ti} = \frac{P_{Hi}^2 + Q_{Hi}^2}{U_{внi}^2} * \frac{R_T}{n} + n * \Delta P_x;$$

$$\Delta Q_{Ti} = \frac{P_{Hi}^2 + Q_{Hi}^2}{U_{внi}^2} * \frac{X_T}{n} + n * \Delta Q_x;$$

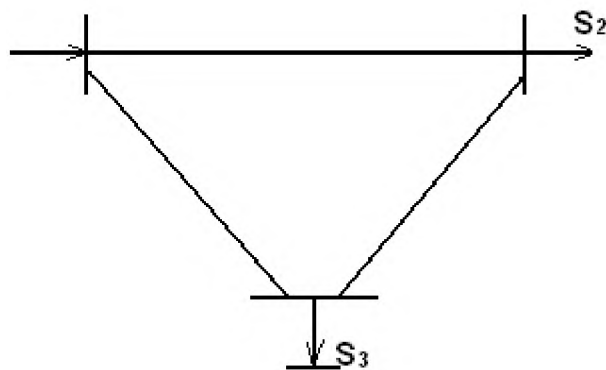
где: n – количество трансформаторов; P_H, Q_H – мощность нагрузки; U_{BH} – напряжение высшего трансформатора.

$$\Delta P_{T2} = \frac{4900+400}{13225} * \frac{0,87}{2} + 2 * 0,059 = 0,29233;$$

$$\Delta P_{T3} = \frac{6400+1225}{13225} * \frac{0,87}{2} + 2 * 0,059 = 0,368803;$$

$$\Delta Q_{T2} = \frac{4900+400}{13225} * \frac{22}{2} + 2 * 0,41 = 5,22832;$$

$$\Delta Q_{T3} = \frac{6400+1225}{13225} * \frac{22}{2} + 2 * 0,41 = 7,162155;$$



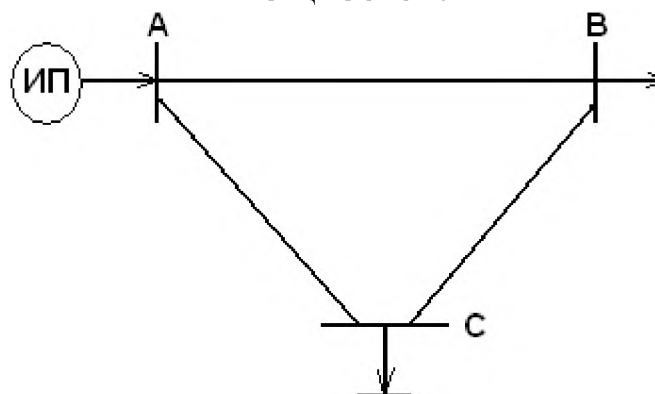
$$S_2 = P_{H2} + jQ_{H2} + \Delta P_{T3} + j\Delta Q_{T3} = P_2 + jQ_2;$$

$$S_3 = P_{H3} + jQ_{H3} + \Delta P_{T2} + j\Delta Q_{T2} = P_3 + jQ_3;$$

$$S_2 = 70,2923 + j25,2283;$$

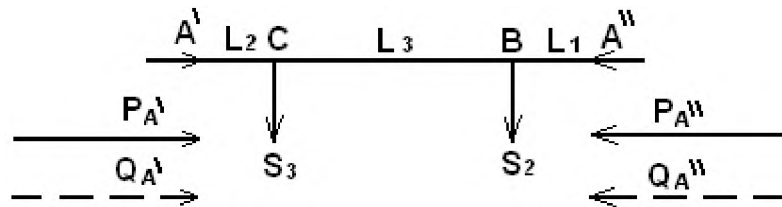
$$S_3 = 80,3688 + j42,1622$$

3. Расчёт замкнутых сетей. Расчёт потокораспределения мощностей.



где: ИП – источник питания.

Необходимо разрезать сеть в точке питания и развернуть её.



где: $P_{A'}$, $P_{A''}$ - поток активной мощности; $Q_{A'}$, $Q_{A''}$ - поток реактивной мощности.

$$P_{A'} = \frac{P_3(L_3 + L_1) + P_2L_1}{L_1 + L_2 + L_3};$$

$$P_{A''} = \frac{P_2(L_2 + L_3) + P_3L_2}{L_1 + L_2 + L_3};$$

$$Q_{A'} = \frac{Q_3(L_3 + L_1) + Q_2L_1}{L_1 + L_2 + L_3};$$

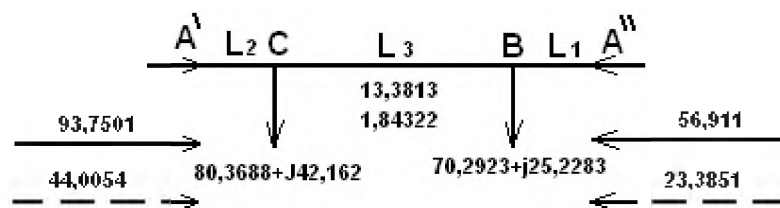
$$Q_{A''} = \frac{Q_2(L_2 + L_3) + Q_3L_2}{L_1 + L_2 + L_3};$$

$$P_{A'} = \frac{80,3688 * (150 + 200) + 70,2923 * 200}{200 + 100 + 150} = 93,7501;$$

$$P_{A''} = \frac{70,2923 * (100 + 150) + 80,3688 * 100}{200 + 100 + 150} = 56,911;$$

$$Q_{A'} = \frac{42,1622 * (150 + 200) + 25,2283 * 200}{200 + 100 + 150} = 44,0054;$$

$$Q_{A''} = \frac{25,2283 * (100 + 150) + 42,1622 * 100}{200 + 100 + 150} = 23,3851;$$



4. Выбор сечения проводов производится по экономической плотности тока.

$$S_i = P_i + jQ_i;$$

$$|S_2| = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{4941,01 + 636,47} = 74,68;$$

$$|S_3| = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} = \sqrt{6459,14 + 1777,65} = 90,76;$$

$$|S_1| = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{93,7501^2 + 44,0054^2} = 103,564255$$

$$I_{pi} = \frac{|S_i|}{\sqrt{3} * U_2}; \quad F_{pi} = \frac{I_{pi}}{J_{\text{экс} \approx 1,1}};$$

$$I_{p2} = \frac{74,68}{1,73 * 330} = 0,13066; \quad F_{p2} = \frac{0,13066}{1,1} = 118,782;$$

$$I_{p3} = \frac{90,76}{\sqrt{3} * 330} = 0,15878; \quad F_{p3} = \frac{0,15878}{1,1} = 144,348;$$

$$I_{p1} = \frac{103,56}{\sqrt{3} * 330} = 0,181190456; \quad F_{p1} = \frac{0,181191}{1,1} = 164,719;$$

$$F_{\text{max}} = 164,719;$$

5. Расчёт потерь в воздушной линии (ВЛ) ЛЭП.

$$\Delta P_{li} = \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_2^2} * R_{li}; \quad \text{где } R_{li} = R_0 * L_i$$

$$\Delta P_{л2} = \frac{70,2923^2 + 25,2283^2}{330^2} * 600 = 30,7299;$$

$$\Delta P_{л3} = \frac{80,3688^2 + 42,1622^2}{330^2} * 300 = 22,6909;$$

$$\Delta P_{л1} = \frac{93,7501^2 + 44,0054^2}{330^2} * 450 = 44,3205;$$

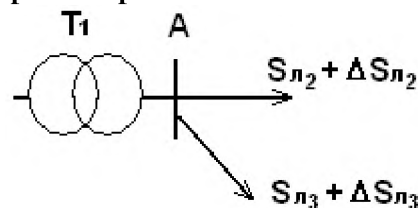
$$\Delta Q_{li} = \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_2^2} * X_{li}; \quad \text{где } X_{li} = X_0 * L_i$$

$$\Delta Q_{л2} = \frac{70,2923^2 + 25,2283^2}{330^2} * 3310 = 169,527;$$

$$\Delta Q_{л3} = \frac{80,3688^2 + 42,1622^2}{330^2} * 1655 = 125,178;$$

$$\Delta Q_{л1} = \frac{93,7501^2 + 44,0054^2}{330^2} * 2482,5 = 244,501;$$

6. Расчёт трансформатора в точке «А».



$$S_{T1} = S_{л1} + S_{л2} + \Delta S_{л1} + \Delta S_{л2} = 204,082 + j352,095;$$

$$S_i = P_i + jQ_i;$$

$$|S_1| = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = 415,65;$$

$$S_{ТП1} = \frac{|S_1|}{2} = \frac{415,65}{2} = 207,82;$$

$$\frac{|S_1|}{S_{1ном}} = \frac{415,65}{296,891} = 1,039;$$

Исходя из рассчитанных параметров определим трансформатор, который удовлетворяет полученным данным. Для данного узла подходит трансформатор ТДЦ-400000/110.

7. Рассчитаем потери мощности в трансформаторе.

$$\Delta P_{Ti} = \frac{P_{Hi}^2 + Q_{Hi}^2}{U_{внi}^2} * \frac{R_T}{n} + n * \Delta P_x;$$

$$\Delta Q_{Ti} = \frac{P_{Hi}^2 + Q_{Hi}^2}{U_{внi}^2} * \frac{X_T}{n} + n * \Delta Q_x;$$

где: n – количество трансформаторов; P_H, Q_H – мощность нагрузки; U_{вн} – напряжение высшего трансформатора.

$$\Delta P_{T1} = 1,112;$$

$$\Delta Q_{T1} = 26,0198;$$

$$S_1 = P_{H1} + jQ_{H1} + \Delta P_{T1} + j\Delta Q_{T1} = P_1 + jQ_1;$$

$$S_1 = 205,194 + j388,1150438$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыкин А.В. Электрические системы и сети [Текст] Учебное пособие / А.В. Лыкин. – М.: Логос, 2007 – 254 с. (Новая университетская библиотека).
2. Электропитающие системы и электрические сети [Текст] Учебное пособие / Н.В. Хорошилов, А.В. Пилюгин [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 352 с.
3. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем [Текст] Учеб. пособие для электроэнергетич. спец. вузов / Я.Д. Баркан. – М.: Высшая школа, 1990.
4. Блок В.М. Электрические сети и системы [Текст] Учебник для вузов / В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 1986.
5. Идельчик В.И. Электрические сети и системы [Текст] Учебник для вузов / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ. Т.1-Т.4 [Текст] / Е.Ф. Макаров; ред. И.Т. Горюнов, А.А. Любимов. – М.: Папирус Про, 1999-2005.
7. Мельников Н.А. Электрические сети и системы [Текст] Учебник для вузов / Н.А. Мельников. – М.: Энергия, 1975.
8. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: НЦ ЭНАС, 2005.
9. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях [Текст] Учебное пособие для студ. вузов / Под ред. В.А. Строева. – М.: Высшая школа, 1999.
10. Основы современной энергетики [Текст]: учебник / в 2 т. Т. 2: Современная электроэнергетика / под общ. ред. Е. В. Аметистова; под ред. А. П. Бурмана и В. А. Строева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: МЭИ, 2008. 632 с.: ил. ISBN 978-5-383-00163-9.
11. Ополева Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст]: справочник: учебное пособие / Галина Николаевна Ополева. М.: ИНФРА-М, 2008. - 480 с.
12. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: учебник для студентов вузов / Б. И. Кудрин. - М.: Интермет Инжиниринг, 2005.
13. Правила устройства электроустановок [Текст]: 7-е издания. М.: Госэнергонадзор, 2002, 278с.

Сборник задач

Задача 1

Определить параметры схемы замещения линии 110 кВ, выполненной проводом АС-120, протяженностью 10 км.

Подвеска проводов – горизонтальная, расстояние между соседними фазами 2 м.

Задача 2

Определить параметры схемы замещения линии 35 кВ, выполненной проводом АС-70, протяженностью 8 км.

Подвеска проводов – горизонтальная, расстояние между соседними фазами 1,1 м.

Задача 3

Определить параметры схемы замещения линии 220 кВ, выполненной проводом АС-240, протяженностью 28 км.

Подвеска проводов – горизонтальная, расстояние между соседними фазами 2,2 м.

Задача 4

Определить как изменится X линии, напряжением 110 кВ, провод АС-70, с горизонтальным расположением проводов на расстоянии 2 м, если провода расположить равносторонним треугольником.

Задача 5

Определить как изменится X линии, напряжением 220 кВ, провод АС-300, с горизонтальным расположением проводов на расстоянии 3 м, если провода расположить равносторонним треугольником.

Задача 6

Определить как изменится X линии, напряжением 35 кВ, провод АС-95, с горизонтальным расположением проводов на

расстоянии 1,5 м, если провода расположить равносторонним треугольником.

Задача 7

Определить параметры схемы замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора ТМГ- 1600/10.

Задача 8

Определить параметры схемы замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора ТДН – 10000/35.

Задача 9

Определить параметры схемы замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора ТРДН – 25000/110.

Задача 10

Машиностроительный завод, потребляющий мощность $56+j44$ МВА, питается при напряжении 110 кВ. Линия электропередачи выполнена проводом АС-120, протяженность 11 км. Напряжение в конце линии равно 108,5 кВ. Определить потери мощности в линии.

Задача 11

Машиностроительный завод, потребляющий мощность $40+j30$ МВА, питается при напряжении 220 кВ. Линия электропередачи выполнена проводом АС-240, протяженность 140 км. Напряжение в конце линии равно 214 кВ. Определить потери мощности в линии.

Задача 12

Машиностроительный завод, потребляющий мощность $10+j15$ МВА, питается при напряжении 35 кВ. Линия электропередачи выполнена проводом АС-70, протяженность 18 км. Напряжение в конце линии равно 33 кВ. Определить потери мощности в линии.

Задача 13

Машиностроительный завод, потребляющий мощность $10+j8$ МВА, питается при напряжении 110 кВ. Линия электропередачи выполнена проводом АС-120, протяженность 100 км. Напряжение в конце линии равно 108 кВ. Определить напряжение в начале линии.

Задача 14

Машиностроительный завод, потребляющий мощность $55+j65$ МВА, питается при напряжении 220 кВ. Линия электропередачи выполнена проводом АС-300, протяженность 150 км. Напряжение в конце линии равно 218 кВ. Определить напряжение в начале линии.

Задача 15

Машиностроительный завод, потребляющий мощность $25+j30$ МВА, питается при напряжении 115 кВ. Линия электропередачи выполнена проводом АС-95, протяженность 20 км. Напряжение в конце линии равно 109 кВ. Определить напряжение в начале линии.

Задача 16

Станкостроительный завод получает питание от районной сети 110 кВ. На ГПП завода установлен трансформатор ТДН-10000/110. Максимальная мощность, потребляемая заводом, равна 8700 кВА, коэфф. мощности 0,88. Определить потери активной и реактивной мощности в трансформаторе.

Задача 17

Станкостроительный завод получает питание от районной сети 110 кВ. На ГПП завода установлен трансформатор ТМН-6300/110. Максимальная мощность, потребляемая заводом, равна 5200 кВА, коэфф. мощности 0,9. Определить потери активной и реактивной мощности в трансформаторе.

Задача 18

Цементный завод получает питание от районной сети 35 кВ. На ГПП завода установлен трансформатор ТРДН-25000/35. Максимальная мощность, потребляемая заводом, равна 18300 кВА,

коэфф. мощности 0,75. Определить потери активной и реактивной мощности в трансформаторе.

Задача 19

Определить параметры схемы замещения трехфазного трехобмоточного трансформатора ТДТН-40000/220.

Задача 20

Воздушная линия 10 кВ протяженностью 5 км выполнена проводом АС-70 и питает нагрузку мощностью $500+j420$ кВА. Определить потери мощности в линии.

Данные сталеалюминиевых проводов воздушных линий 110 – 220 кВ

Марка провода	Сечение алюминия, мм ²	Диаметр провода, мм	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	b ₀ 10 ⁻⁶ , См/км	ΔP _к , кВт/км	Длительно допустимый ток, А	K ₀ , тыс.руб/км	
								110 кВ	220 кВ
Напряжение 110 кВ									
70/11	68,0	11,4	0,428	0,444	2,55	–	265	19,4	–
95/16	95,4	13,5	0,306	0,434	2,61	–	330	19,1	–
120/19	118,0	15,2	0,249	0,427	2,66	–	390	19,0	–
120/27	114,0	15,4	0,253	0,425	2,67	–	375	19,1	–
150/19	148,0	16,8	0,199	0,421	2,69	–	450	18,9	–
150/24	149,0	17,1	0,198	0,420	2,70	–	450	19,0	–
150/34	147,0	17,5	0,201	0,423	2,71	–	450	19,1	–
185/29	181,0	18,8	0,162	0,413	2,75	–	510	19,7	–
185/43	185,0	19,6	0,158	0,410	2,78	–	515	19,8	–
240/32	244,0	21,6	0,121	0,405	2,81	–	605	20,0	–
Напряжение 220 кВ									
240/32	244,0	21,6	0,121	0,435	2,60	2,7	605	–	22,9
240/39	236,0	21,6	0,124	0,438	2,61	2,5	610	–	23,0
300/39	301,0	24,0	0,098	0,429	2,64	2,5	710	–	24,1
400/51	394,0	27,5	0,075	0,420	2,70	1,7	825	–	25,0
500/64	490,0	30,6	0,060	0,413	2,74	1,5	945	–	26,0

Данные сталеалюминиевых проводов воздушных линий 330 – 500 кВ

Марка провода	Для одного провода			Количе ство провод ов в фазе	330 кВ				500 кВ			
	Сече ние алюм иния, мм ²	Диаме тр, мм	Длитель но допуст имый ток, А		r_0 , Ом/к м	x_0 , Ом/к м	$b_0 \times 10^{-6}$, См/к м	ΔP_k кВт/ км	r_0 , Ом/к м	x_0 , Ом/к м	$b_0 \times 10^{-6}$, См/к м	ΔP_0 кВт/ км
2×240/32	244,0	21,6	605	2	0,060	0,331	3,38	4,3				
2×300/39	288,3	22,1	710	2	0,048	0,328	3,41	3,4				
2×400/51	394,0	27,5	825	2	0,375	0,323	3,46	2,6				
3×300/66	288,5	24,5	680	3					0,034	0,310	3,97	7,9
3×400/51	394,0	27,5	825	3					0,025	0,306	3,62	6,2
3×500/64	490,0	30,6	945	3					0,020	0,304	3,64	4,9

Данные алюминиевых проводов

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр провода, мм	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км при напряжении, кВ			Длительно допустимый ток, А
				0,38	6	10	
25	24,7	6,4	1,15	0,319	0,389	0,402	135
35	34,5	7,5	0,835	0,308	0,380	0,391	170
50	49,5	9,0	0,578	0,297	0,369	0,380	215
70	69,3	10,7	0,413	0,283	0,355	0,366	265
95	92,4	12,3	0,311	0,274	0,346	0,347	325
120	117,0	14,0	0,246	–	0,338	0,349	375

Данные двухобмоточных трансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	Каталожные данные						Расчетные данные			К ₀ , тыс.руб
		U _{ном} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом	X _т , Ом	ΔQ _х , квар	
		ВН	НН								
ТМН-2500/35	2,5	35	6,3; 11	6,5	23,5	5,1	1,1	4,6	31,9	27,5	21,2
ТМН-4000/35	4,0	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6	23,0	40,0	25,7
ТДН-10000/35	10,0	36,75	6,3; 10,5	8,0	60,0	12,5	0,6	0,81	10,8	60,0	41,8
ТМН-6300/110	6,3	115	6,6; 11	10,5	44,0	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4	49,0
ТДН-10000/110	10,0	115	6,6; 11	10,5	60,0	14,0	0,7	7,95	139,0	70,0	54,0
ТДН-16000/110	16,0	115	6,6; 11	10,5	85,0	19,0	0,7	4,38	86,7	122,0	63,0
ТРДН-25000/110	25,0	115	6,3; 10,5	10,5	120,0	27,0	0,7	2,54	55,9	175,0	84,0
ТРДН-40000/110	40,0	115	6,3; 10,5	10,5	172,0	36,0	0,65	1,4	34,7	260,0	109,0
ТРДЦН-63000/110	63,0	115	6,3; 10,5	10,5	260,0	59,0	0,6	0,87	22,0	410,0	136,0
ТРДН-40000/220	40,0	230	6,6; 11	12,0	170,0	50,0	0,9	5,6	158,7	360,0	169,0

Данные трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов)

Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	Каталожные данные									ΔQ_x , квар
		$U_{НОМ}$ обмоток, кВ			U_K , %			ΔP_K , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н				
ТМТН-6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	58	14	1,2	75,6
ТДТН-10000/110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	76	17	1,1	110
ТДТН-16000/110	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	100	23	1,0	160
ТДТН-25000/110	25	115	38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7	175
ТДТН-40000/110	40	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	200	43	0,6	240
ТДТН-25000/220	25	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	50	1,2	300
ТДТН-40000/220	40	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	220	55	1,1	440
АТДЦТН-125000/220/110	125	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28	305	65	0,5	625