

Занятие № 14

1.2. Моделирование схемы электроснабжения для расчёта токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Цель работы: овладение методикой математического моделирования и расчета токов КЗ в сетях выше 1000 В.

1.2.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При расчете токов КЗ в сетях выше 1000 В обязателен учет индуктивных сопротивлений элементов сети: электродвигателей, трансформаторов, реакторов, воздушных и кабельных линий, токопроводов. Активное сопротивление учитывается для воздушных ЛЭП с малым сечением проводов и со стальными проводами, а также для кабельных линий большой протяженности с малым сечением жил. Целесообразно учитывать активное сопротивление, если $r_{\Sigma} \geq x_{\Sigma} / 3$, где r_{Σ} , x_{Σ} – суммарные активное и реактивное сопротивления сети от источника питания до места КЗ.



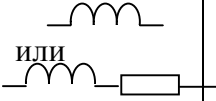
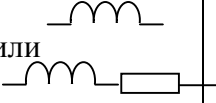
Активное сопротивление трансформаторов также необходимо учитывать в расчетах токов КЗ, если $r_{\text{тр}} \geq 0,3x_{\text{тр}}$. Кроме этого, на сопротивление влияет изменение числа витков обмоток устройствами регулирования напряжения. Учесть действительное положение ответвлений каждого трансформатора в распределительных сетях практически невозможно, поскольку их положение изменяется в зависимости от значения нагрузки, схемы и режима работы сети. Поэтому при расчетах принимается, что все трансформаторы включены на основное ответвление, соответствующее их номинальному напряжению.

Все сопротивления схемы замещения подсчитывают в именованных (Ом) или в относительных единицах. При расчете в относительных единицах задаются базовыми величинами: напряжением U_6 и мощностью S_6 .

Расчетные формулы для моделирования элементов системы электроснабжения приведены в таблице 1.12.

Таблица 1.12

Расчетные формулы для определения сопротивлений

Элемент ЭУ, его схема и исходный параметр	Схема замещения	Расчетные формулы	
		Именованные единицы, Ом	относительные единицы
Генератор, $X_d, \%$		$x = \frac{X_d \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x = \frac{X_d \%}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}}$
Энергосистема $I_{\text{откл.ном.}}$ $S_{\text{кз.сист}}$ $x_{\text{сист}}$		$x = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} I_{\text{откл.ном.}}}$ или $x = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{кз.сист}}}$	$x = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} I_{\text{откл.ном.}} U_{\text{ср.ном}}}$ или $x = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{кз.сист}}}$
Двухобмоточный трансформатор $u_{\text{кз}}, \%$		$x = \frac{u_{\text{кз}} \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}}$	$x = \frac{u_{\text{кз}} \%}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ.тр}}}$
Реактор $x_p, \text{Ом}$		$x = x_p \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{U_{\text{ср}}^2}$	$x = x_p \frac{S_{\text{НОМ}}^2}{U_{\text{ср}}^2}$
Линия r_0, x_0		$x = x_0 l$ $r = r_0 l$	$x = x_0 l \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2}$ $r = r_0 l \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2}$

$S_{\text{НОМ}}$ – номинальные мощности элементов, МВА;

$S_{\text{б}}$ – базовая мощность, МВА;

$S_{\text{кз.сист}}$ – мощность КЗ энергосистемы, МВА;

$I_{\text{откл.ном.}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА;

$u_{\text{кз}}$ – напряжение КЗ трансформатора, %;

x_p – сопротивление реактора, Ом;

r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивления линии на 1 км длины;

l – длина линии, км;

X_d – сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора;

$U_{\text{ср}}$ – среднее напряжение в месте установки данного элемента, кВ.

1.2.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Для схемы электроснабжения цеховой подстанции (рис. 1.2) требуется составить схему замещения для расчета токов КЗ; определить сопротивления элементов схемы электроснабжения; наметить и обозначить на расчетной схеме и схеме замещения точки расчета токов КЗ; определить токи КЗ и составить «сводную ведомость токов КЗ».

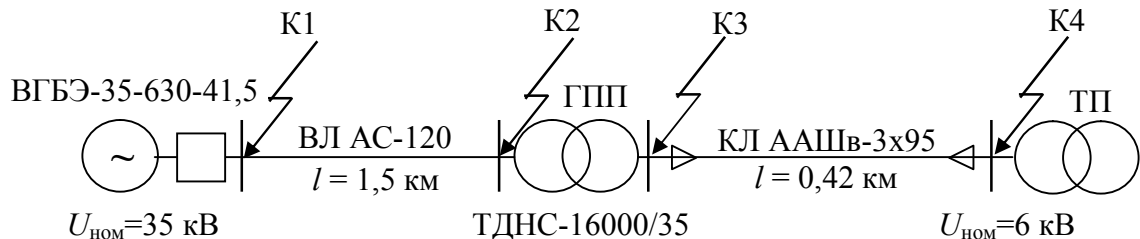


Рис.1.2. Расчетная схема распределительной сети

Определение сопротивлений

На подстанции энергосистемы установлен выключатель высокого напряжения ВГБЭ-35-630-41,5 с номинальным током отключения КЗ $I_{откл.ном} = 41,5$ кА.

Принимаем $U_{ср.ном} = 37$ кВ.

Определяем мощность КЗ системы;

$$S_{кз.сист} = \sqrt{3} \cdot U_{ср.ном} \cdot I_{откл.ном} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 41,5 = 2660 \text{ МВА.}$$

Расчет ведем в относительных единицах. Производим расчёт сопротивлений сети, принимая базисную мощность $S_{б} = 100$ МВА.

1. Сопротивление энергосистемы:

$$x_{сист} = \frac{S_{б}}{S_{кз.сист}} = \frac{100}{2660} = 0,038$$

2. Сопротивление воздушной линии 35 кВ:

$$r_{вл} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{б}}{U_{ср.ном}^2} = \frac{0,27 \cdot 1,5 \cdot 100}{37^2} = 0,03$$

$$x_{вл} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{б}}{U_{ср.ном}^2} = \frac{0,309 \cdot 1,5 \cdot 100}{37^2} = 0,034$$

где: $l = 1,5$ км - длина воздушной линии;

$U_{ср.ном}$ - базисное напряжение данной ступени трансформации, кВ;

$r_0 = 0,27$ Ом/км - активное сопротивление провода АС-120 (табл.1.6);

$x_0 = 0,309$ Ом/км - индуктивное сопротивление провода АС-120 (табл.1.12).

3. Сопротивление трансформатора ТДНС-16000/35 кВА:

$$x_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{кз}}\%}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,656$$

Активным сопротивлением пренебрегаем, так как трансформатор большой мощности.

где $S_{\text{ном.тр}} = 16$ МВА- номинальная мощность трансформатора;

$u_{\text{кз}} = 10,5\%$ – напряжение короткого замыкания трансформатора;

4. Сопротивление кабельной линии:

$$r_{\text{кл}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,329 \cdot 0,42 \cdot 100}{6,3^2} = 0,348;$$

$$x_{\text{кл}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,0602 \cdot 0,42 \cdot 100}{6,3^2} = 0,064,$$

где: $l = 0,42$ км – длина кабельной линии;

$U_{\text{ср.ном}} = 6,3$ кВ – базисное напряжение данной ступени трансформации;

$r_0 = 0,329$ Ом/км – активное сопротивление кабеля ААШв–(3х95) (табл.1.6);

$x_0 = 0,0602$ Ом/км – индуктивное сопротивление кабеля ААШв–(3х95) (табл.1.5)

Составляем схему замещения – рис. 1.3.

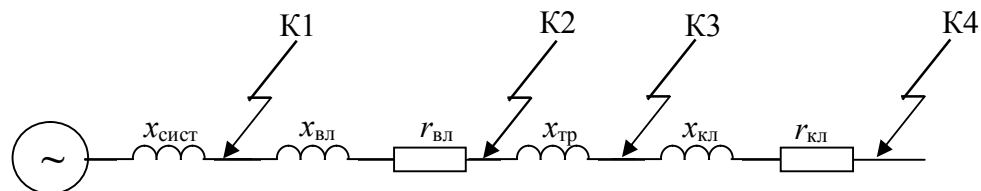


Рис.1.3.Схема замещения участка распределительной сети

Расчет токов КЗ

В сетях среднего напряжения (6-35 кВ) в России применяют изолированную нейтрль. Ток однофазного замыкания на землю в таких сетях невелик, его величина определяется емкостью линии (зависит от напряжения, длины и типа линии), и этот режим не является аварийным. Соответственно, рассчитывать токи однофазного КЗ в сетях среднего напряжения нет необходимости.

Ток двухфазного КЗ легко определяется по рассчитанному току трехфазного:

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{кз}}^{(3)} = 0,87 I_{\text{кз}}^{(3)}$$

Ток трехфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} Z_{\text{рез}}}, \text{ кА}$$

где $Z_{\text{рез}}$ – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

При расчете в системе относительных единиц сначала находят базисный ток КЗ на рассматриваемой ступени трансформации:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} U_{\text{ср.ном}}}, \text{ кА}$$

а затем определяют реальное значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{I_{\text{б}}}{Z_{\text{рез}}}, \text{ кА}$$

Будем определять токи трехфазного КЗ по намеченным точкам.

Точка К1:

$$I_{\text{б}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{1,56}{0,038} = 41,05 \text{ кА}$$

$$Z_{\text{рез}} = x_{\text{сист}} = 0,038$$

Ударный ток КЗ

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 41,05 = 104,5 \text{ кА}$$

$$k_{\text{уд}} = 1,8 \text{ по таблице 1.1.}$$

Точка К2:

$$I_{\text{б}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{1,56}{0,078} = 20 \text{ кА}$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{(x_{\text{сист}} + x_{\text{вл}})^2 + (r_{\text{вл}})^2} = \sqrt{(0,038 + 0,034)^2 + (0,03)^2} = 0,078$$

Ударный ток КЗ

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 50,91 \text{ кА}$$

$$k_{\text{уд}} = 1,8 \text{ по таблице 1.1.}$$

Точка К3:

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16 \text{ кА}$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{9,16}{0,729} = 12,57 \text{ кА}$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{(x_{\text{сист}} + x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{тр}})^2 + (r_{\text{ВЛ}})^2} = \sqrt{(0,038 + 0,034 + 0,656)^2 + (0,03)^2} = 0,729$$

Ударный ток КЗ

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,57 = 31,99 \text{ кА}$$

$$k_{\text{уд}} = 1,8 \text{ по таблице 1.1.}$$

Точка К4:

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16 \text{ кА}$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{9,16}{0,876} = 10,46 \text{ кА}$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{(x_{\text{сист}} + x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{тр}} + x_{\text{кЛ}})^2 + (r_{\text{ВЛ}} + r_{\text{кЛ}})^2} = \sqrt{(0,038 + 0,034 + 0,656 + 0,064)^2 + (0,03 + 0,348)^2} = 0,876$$

Ударный ток КЗ

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 10,46 = 26,83 \text{ кА}$$

$$k_{\text{уд}} = 1,8 \text{ по таблице 1.1.}$$

Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные точки		К1	К2	К3	К4
Токи КЗ, кА	$I_{\text{КЗ}}^{(3)}$	41,05	20,0	12,57	10,46
	$i_{\text{уд}}$	104,5	50,91	31,99	26,83

1.2.3. ЗАДАНИЕ

Для схемы электрической сети выше 1000 В (рис. 1.4) требуется составить схему замещения для расчета токов КЗ; определить сопротивления элементов схемы электроснабжения; наметить и обозначить на расчетной схеме и схеме замещения точки расчета токов КЗ; определить токи КЗ и составить «сводную ведомость токов КЗ». Кабельные линии к цеховой ТП и высоковольтному синхронному двигателю (СД) выполнены кабелями с бумажной поясной изоляцией. Среднее геометрическое расстояние между проводами воздушной линии электропередачи (ВЛ) принимаются любым, в соответствии с табл.1.11.

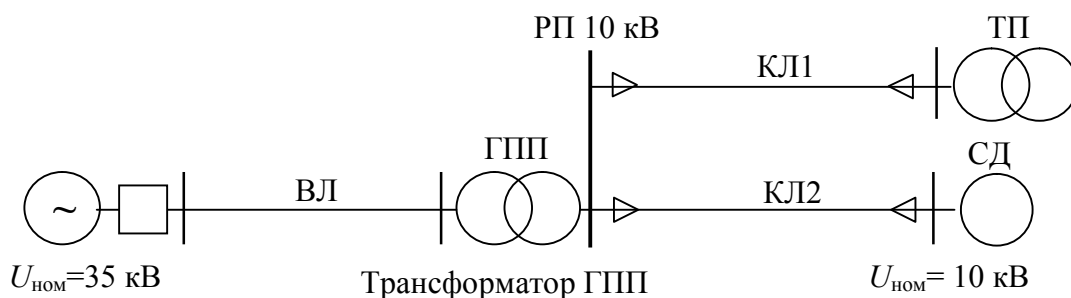


Рис.1.4. Расчетная схема распределительной сети

Варианты заданий приведены в таблице 1.13. Вариант задания определяется преподавателем.

Таблица 1.13

Варианты заданий

№ вар	Система	ВЛ		Трансформатор ГПП		КЛ1		КЛ2	
		$S_{кз},$ МВА	$S,$ мм ²	$l,$ км	$S,$ МВА	$u_{кз},$ %	$S,$ мм ²	$l,$ км	$S,$ мм ²
1	5000	АС-240	5,6	40	11	150	1,2	95	0,5
2	4000	АС-185	10,2	32	10,5	120	0,6	70	1,2
3	3000	АС-150	5,4	25	10,5	120	0,8	95	0,6
4	2000	АС-120	6,8	16	10,5	95	1,2	50	0,8
5	2000	АС-150	10,5	25	11	95	1,2	120	0,3
6	3000	АС-120	4,1	32	11	70	0,4	70	0,2
7	1000	АС-95	2,2	16	10,5	50	0,2	70	0,5
8	1000	АС-70	3,4	10	10,5	35	0,4	50	0,2
9	2000	АС-240	12,5	32	11	120	2,2	95	1,1
10	3000	АС-185	5	25	10,5	70	3,5	50	0,4

1.2.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель и порядок выполнения работы
2. Расчетную схему и схему замещения с указанием контрольных точек расчета токов КЗ
3. Результаты расчетов сопротивлений схемы замещения
4. Результаты расчетов токов КЗ
5. Сводную ведомость расчета токов КЗ
6. Выводы

1.2.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы цели расчета КЗ ?
2. Какие условия и основные допущения принимаются при расчете токов КЗ в системах электроснабжения и почему ?
3. Назовите отличия принципиальной схемы, расчетной схемы и схемы замещения.

4. Почему при моделировании элементов схемы электроснабжения для расчета токов КЗ не учитываются их поперечные составляющие ?
 5. В каких случаях допускается не учитывать активные сопротивления элементов схемы электроснабжения ?
 6. Объясните понятие ударного тока КЗ, периодической и апериодической составляющих
 7. На каких участках электрической сети необходимо определять токи КЗ ?
 8. Что понимается под термином «относительные единицы»?
 9. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения электроэнергетической системы ?
- Зависит ли результат расчета тока КЗ от выбора базисных условий ?