РАСЧЁТНАЯ ЗАПИСКА

Расчёт токов короткого замыкания

Объект: Учебный фидер 10 кВ (ПС-1, ф.5)

Дата: 29.10.2026

1. Общие сведения

Настоящая расчётная записка содержит результаты расчёта токов короткого замыкания объекта «Учебный фидер 10 кВ (ПС-1, ф.5)». Количество расчётных точек повреждения – 14. Рассмотрены виды повреждений: Двухфазное КЗ A–B (K(2)); Трёхфазное КЗ (K(3)). Количество фидеров в расчёте – 1: Фидер 1.

Цель расчёта – определение расчётных значений токов КЗ для выбора и проверки электротехнического оборудования по условиям электродинамической и термической стойкости, а также для настройки устройств релейной защиты и автоматики.

2. Исходные данные

Расчётная схема электроснабжения

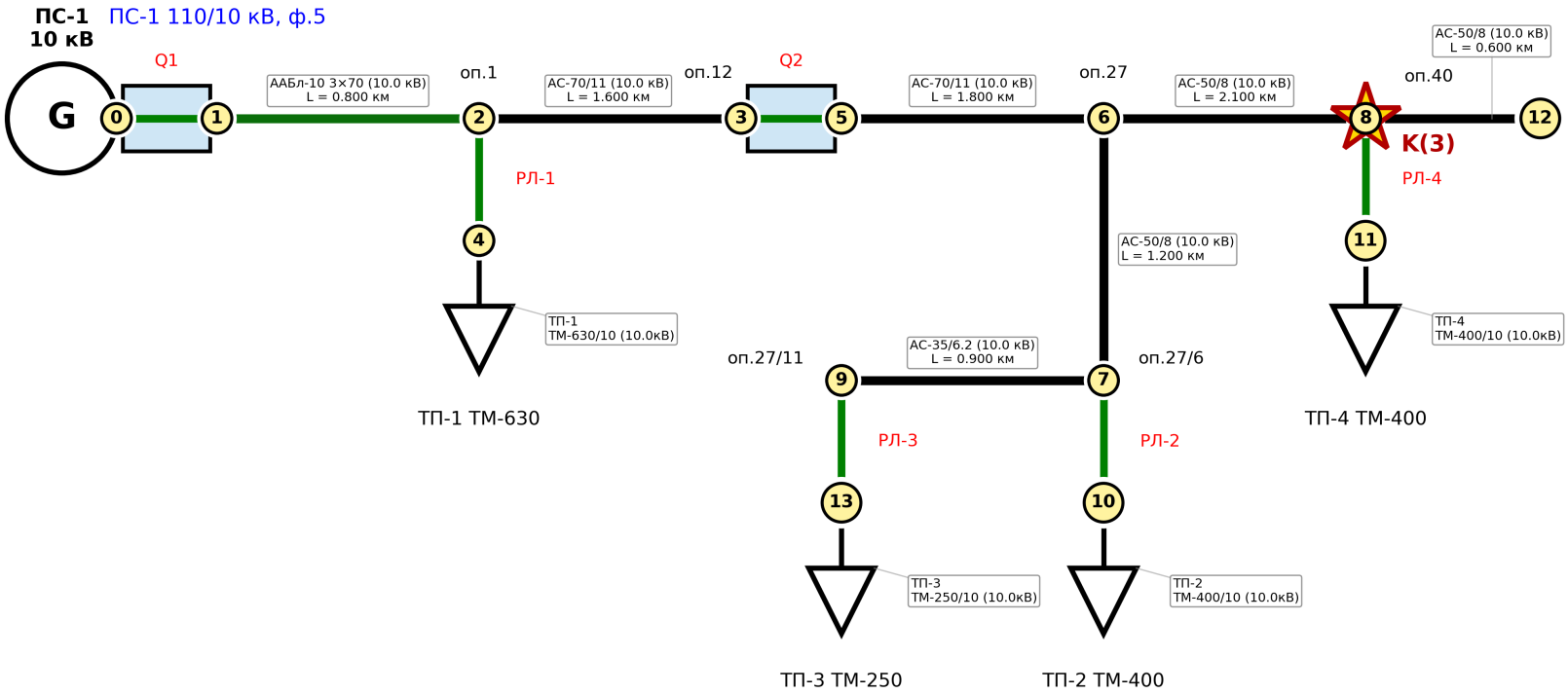

Рисунок 1 – Расчётная схема с обозначением узлов

2.1. Параметры источника питания

Таблица 2.1 – Параметры источника питания

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Наименование	–	ПС-1	–
Номинальное напряжение	Uном	10,00	кВ
Расчётный режим	–	максимальный	–
Коэффициент напряжения, макс. режим	kмакс	1,000	–
Коэффициент напряжения, мин. режим	kмин	1,000	–
Расчётное напряжение (k·Uном)	Uрасч	10,00	кВ
Активное сопротивление	Rс	0,115	Ом
Реактивное сопротивление	Xс	1,149	Ом
Ток КЗ на выводах	Iкз	5,00	кА
Подключение (узел)	–	0	–

2.2. Параметры элементов схемы

Сопротивления элементов даны в омах на ступени напряжения элемента Uст, сопротивления трансформаторов – на стороне ВН.

Таблица 2.2 – Параметры элементов схемы

№	Элемент	Узлы	Uст, кВ	R, Ом	X, Ом	L, км
1	Ветвь 1	0 – 1	10,00	0,0000	0,0000	–
2	Ветвь 2	1 – 2	10,00	0,3544	0,0688	0,800
3	Ветвь 3	2 – 3	10,00	0,6749	0,6400	1,600
4	Ветвь 4	3 – 5	10,00	0,0000	0,0000	–
5	Ветвь 5	5 – 6	10,00	0,7592	0,7200	1,800
6	Ветвь 6	6 – 8	10,00	1,2497	0,8610	2,100
7	Ветвь 7	2 – 4	10,00	0,0000	0,0000	–
8	Ветвь 8	6 – 7	10,00	0,7141	0,4920	1,200
9	Ветвь 9	9 – 7	10,00	0,6997	0,3780	0,900
10	Ветвь 10	7 – 10	10,00	0,0000	0,0000	–
11	Ветвь 11	9 – 13	10,00	0,0000	0,0000	–
12	Ветвь 12	8 – 11	10,00	0,0000	0,0000	–
13	Ветвь 13	8 – 12	10,00	0,3571	0,2460	0,600

3. Методика расчёта

Расчёт токов короткого замыкания выполнен в именованных единицах. Сопротивления элементов других ступеней напряжения приводятся к ступени точки КЗ. Напряжение ступени источника равно его номинальному напряжению, напряжения остальных ступеней получены пересчётом через номинальные коэффициенты трансформации (Uнн/Uвн).

Ток трёхфазного КЗ определяется по формуле:

$$I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) \quad (1)$$

$$U_{расч} = k \cdot U_{ном} \cdot U_{ст.к}/U_{ст.ист} \quad (2)$$

$$Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} \quad (3)$$

$$Z' = Z \cdot (U_{ст.к}/U_{ст})^2 \quad (4)$$

где $Z_{рез}$ – результирующее сопротивление цепи КЗ, Ом;

$U_{расч}$ – расчётное напряжение предшествующего режима, кВ;

k – коэффициент режима: kмакс в максимальном режиме, kмин в минимальном (таблица 2.1);

$U_{ном}$ – номинальное напряжение источника, кВ;

$U_{ст.к}$, $U_{ст.ист}$ – напряжения ступеней точки КЗ и источника, кВ; на ступени источника их отношение равно 1;

$R_с$, $X_с$ – активное и реактивное сопротивления источника, приведённые к ступени точки КЗ, Ом;

$R_п$, $X_п$ – сопротивления пути от шин источника до точки КЗ – суммы сопротивлений участков, приведённых к ступени точки КЗ, Ом;

Z, Z' – сопротивление элемента на его ступени $U_{ст}$ (R и X по таблице 2.2) и приведённое к ступени точки КЗ, Ом; R и X приводятся одним множителем.

Формулы (2) и (3) относятся к радиальной схеме с одним источником. Отпайка трансформатора учитывается приведением сопротивлений и напряжения по фактическому коэффициенту трансформации. Если путь к точке КЗ шунтирован кольцом или параллельной ветвью либо источников несколько, результирующее сопротивление определяется методом Тевенена по узловым матрицам сети с учётом всех замкнутых ветвей и источников. Кольца и параллели на других отводах сопротивление точки не меняют и разложению не мешают.

Ток двухфазного КЗ и мощность КЗ:

$$I^{(2)}_к = (\sqrt{3}/2)\cdot I^{(3)}_к = U_{расч} / (2\cdot Z_{рез}) \quad (5)$$

$$S_{кз} = \sqrt{3}\cdot U_{ст.к}\cdot I^{(3)}_к \quad (6)$$

где $U_{ст.к}$ – напряжение ступени точки КЗ, кВ; для двухфазного КЗ $S = U_{ст.к}\cdot I^{(2)}_к$.

Однофазное замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью рассчитывается по ёмкостной составляющей:

$$I_c = 3\cdot U_ф\cdot \omega\cdot C_\Sigma \quad (7)$$

где $U_ф$ – фазное напряжение сети, В;

ω – угловая частота, 1/с;

C_Σ – сумма ёмкостей участков гальванической зоны по каталожным записям проводников, Ф.

Уставки защиты от ОЗЗ во вкладке «РЗА» рассчитываются по другой методике – инженерной оценке по длине линий ($U_л\cdot L/350$ для воздушных, $U_л\cdot L/10$ для кабельных), поэтому приведённые там числа не обязаны совпадать с настоящим расчётом.

3.1. Допущения и границы расчётной модели

Расчёт выполнен методом Тевенена по узловым матрицам последовательностей с учётом всех источников, параллельных ветвей, колец. Отпайки трансформаторов учитываются приведением сопротивлений и напряжений по фактическим коэффициентам трансформации и не меняют радиальность схемы. Приняты следующие допущения: сопротивление источника нулевой последовательности принято кратным сопротивлению прямой последовательности ($Z0 = 3\cdot Z1$); $Z2 = Z1$; трансформатор разделяет гальванические зоны, его заземлённая обмотка задаёт шунт Z0 без продольной связи. Предаварийные напряжения определяются по ЭДС источников без нагрузки. Фазовый сдвиг группы трансформатора в прямой/обратной последовательности не моделируется. Главный путь в таблицах выбран по числу участков только для представления результата. Однофазные КЗ через Yн/Yн не рассчитываются до реализации передачи нулевой последовательности. Аппараты проверяются по току их собственной ветви в амперах на стороне аппарата; подсветка пути не служит критерием проверки.

Замечаний к определению заземления расчётных зон не выявлено.

4. Результаты расчёта

4.1. Сводная таблица токов КЗ

Таблица 4.1 – Фазные токи короткого замыкания

Фидер	Точка	Узел	Вид КЗ	Ia	Ib	Ic
Фидер 1	K1	0	Трёхфазное КЗ (K(3))	5,00 кА	5,00 кА	5,00 кА
Фидер 1	K2	0	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	4,33 кА	4,33 кА	0 A
Фидер 1	K3	1	Трёхфазное КЗ (K(3))	5,00 кА	5,00 кА	5,00 кА
Фидер 1	K4	1	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	4,33 кА	4,33 кА	0 A
Фидер 1	K5	2	Трёхфазное КЗ (K(3))	4,42 кА	4,42 кА	4,42 кА
Фидер 1	K6	2	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	3,83 кА	3,83 кА	0 A
Фидер 1	K7	3	Трёхфазное КЗ (K(3))	2,65 кА	2,65 кА	2,65 кА
Фидер 1	K8	3	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	2,29 кА	2,29 кА	0 A
Фидер 1	K9	4	Трёхфазное КЗ (K(3))	4,42 кА	4,42 кА	4,42 кА
Фидер 1	K10	4	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	3,83 кА	3,83 кА	0 A
Фидер 1	K11	5	Трёхфазное КЗ (K(3))	2,65 кА	2,65 кА	2,65 кА
Фидер 1	K12	5	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	2,29 кА	2,29 кА	0 A
Фидер 1	K13	6	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,80 кА	1,80 кА	1,80 кА
Фидер 1	K14	6	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,56 кА	1,56 кА	0 A
Фидер 1	K15	7	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,43 кА	1,43 кА	1,43 кА
Фидер 1	K16	7	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,24 кА	1,24 кА	0 A
Фидер 1	K17	8	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,24 кА	1,24 кА	1,24 кА
Фидер 1	K18	8	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,07 кА	1,07 кА	0 A

Фидер	Точка	Узел	Вид КЗ	Ia	Ib	Ic
Фидер 1	K19	9	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,21 кА	1,21 кА	1,21 кА
Фидер 1	K20	9	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,04 кА	1,04 кА	0 A
Фидер 1	K21	10	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,43 кА	1,43 кА	1,43 кА
Фидер 1	K22	10	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,24 кА	1,24 кА	0 A
Фидер 1	K23	11	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,24 кА	1,24 кА	1,24 кА
Фидер 1	K24	11	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,07 кА	1,07 кА	0 A
Фидер 1	K25	12	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,13 кА	1,13 кА	1,13 кА
Фидер 1	K26	12	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	982 A	982 A	0 A
Фидер 1	K27	13	Трёхфазное КЗ (K(3))	1,21 кА	1,21 кА	1,21 кА
Фидер 1	K28	13	Двухфазное КЗ A–B (K(2))	1,04 кА	1,04 кА	0 A

Таблица 4.2 – Максимальный ток и параметры точки КЗ

Фидер	Точка	Узел	Imax	Zрез, Ом	Sкз, МВА
Фидер 1	K1	0	5,00 кА	1,155 Ом	86,60 МВА
Фидер 1	K2	0	4,33 кА	1,155 Ом	43,30 МВА
Фидер 1	K3	1	5,00 кА	1,155 Ом	86,60 МВА
Фидер 1	K4	1	4,33 кА	1,155 Ом	43,30 МВА
Фидер 1	K5	2	4,42 кА	1,305 Ом	76,61 МВА
Фидер 1	K6	2	3,83 кА	1,305 Ом	38,31 МВА
Фидер 1	K7	3	2,65 кА	2,182 Ом	45,83 МВА
Фидер 1	K8	3	2,29 кА	2,182 Ом	22,91 МВА
Фидер 1	K9	4	4,42 кА	1,305 Ом	76,61 МВА
Фидер 1	K10	4	3,83 кА	1,305 Ом	38,31 МВА
Фидер 1	K11	5	2,65 кА	2,182 Ом	45,83 МВА
Фидер 1	K12	5	2,29 кА	2,182 Ом	22,91 МВА
Фидер 1	K13	6	1,80 кА	3,205 Ом	31,20 МВА
Фидер 1	K14	6	1,56 кА	3,205 Ом	15,60 МВА
Фидер 1	K15	7	1,43 кА	4,035 Ом	24,79 МВА
Фидер 1	K16	7	1,24 кА	4,035 Ом	12,39 МВА
Фидер 1	K17	8	1,24 кА	4,666 Ом	21,43 МВА
Фидер 1	K18	8	1,07 кА	4,666 Ом	10,72 МВА

Фидер	Точка	Узел	Imax	Zрез, Ом	Sкз, МВА
Фидер 1	К19	9	1,21 кА	4,785 Ом	20,90 МВА
Фидер 1	К20	9	1,04 кА	4,785 Ом	10,45 МВА
Фидер 1	К21	10	1,43 кА	4,035 Ом	24,79 МВА
Фидер 1	К22	10	1,24 кА	4,035 Ом	12,39 МВА
Фидер 1	К23	11	1,24 кА	4,666 Ом	21,43 МВА
Фидер 1	К24	11	1,07 кА	4,666 Ом	10,72 МВА
Фидер 1	К25	12	1,13 кА	5,089 Ом	19,65 МВА
Фидер 1	К26	12	982 А	5,089 Ом	9,82 МВА
Фидер 1	К27	13	1,21 кА	4,785 Ом	20,90 МВА
Фидер 1	К28	13	1,04 кА	4,785 Ом	10,45 МВА

4.2. Детализация расчёта по точкам

[Фидер 1] Точка К1 – узел 0, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К1: $Z_{рез}$ = 1,155 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 5,00 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 86,60 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К1 (таблица 4.3.1): $R_п$ = 0,000 Ом; $X_п$ = 0,000 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 0{,}000)^2 + (1{,}149 + 0{,}000)^2)} = 1{,}155$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 1{,}155) = 5{,}00$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 0.

Таблица 4.3.1 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К1, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000

[Фидер 1] Точка К2 – узел 0, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К2: $Z_{рез}$ = 1,155 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 4,33 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 43,30 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К2 (таблица 4.3.2): $R_п$ = 0,000 Ом; $X_п$ = 0,000 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 0,000)^2 + (1,149 + 0,000)^2)} = 1,155$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1,000 \cdot 10,00 = 10,00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (2 \cdot 1,155) = 4,33$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 0.

Таблица 4.3.2 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К2, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000

[Фидер 1] Точка КЗ – узел 1, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке КЗ: $Z_{рез} = 1,155$ Ом. Расчётный ток КЗ: $I_{max} = 5,00$ кА. Мощность КЗ: $S_{кз} = 86,60$ МВА.

Сопротивление источника: $R_с = 0,115$ Ом; $X_с = 1,149$ Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки КЗ (таблица 4.3.3): $R_п = 0,000$ Ом; $X_п = 0,000$ Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 0,000)^2 + (1,149 + 0,000)^2)} = 1,155$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1,000 \cdot 10,00 = 10,00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (1,732 \cdot 1,155) = 5,00$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 1 → 0.

Таблица 4.3.3 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К3, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000

[Фидер 1] Точка К4 – узел 1, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К4: $Z_{рез} = 1,155$ Ом. Расчётный ток КЗ: $I_{max} = 4,33$ кА. Мощность КЗ: $S_{кз} = 43,30$ МВА.

Сопротивление источника: $R_с = 0,115$ Ом; $X_с = 1,149$ Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К4 (таблица 4.3.4): $R_п$ = 0,000 Ом; $X_п$ = 0,000 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 0,000)^2 + (1,149 + 0,000)^2)} = 1,155$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1,000 \cdot 10,00 = 10,00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (2 \cdot 1,155) = 4,33$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 1 → 0.

Таблица 4.3.4 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К4, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000

[Фидер 1] Точка К5 – узел 2, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К5: $Z_{рез}$ = 1,305 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 4,42 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 76,61 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К5 (таблица 4.3.5): $R_п$ = 0,354 Ом; $X_п$ = 0,069 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 0,354)^2 + (1,149 + 0,069)^2)} = 1,305$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1,000 \cdot 10,00 = 10,00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (1,732 \cdot 1,305) = 4,42$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.5 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К5, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688

[Фидер 1] Точка К6 – узел 2, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К6: $Z_{рез}$ = 1,305 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 3,83 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 38,31 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К6 (таблица 4.3.6): $R_п$ = 0,354 Ом; $X_п$ = 0,069 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 0,354)^2 + (1,149 + 0,069)^2)}$ = 1,305 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (2·1,305) = 3,83 кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.6 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К6, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688

[Фидер 1] Точка К7 – узел 3, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К7: $Z_{рез}$ = 2,182 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 2,65 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 45,83 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К7 (таблица 4.3.7): $R_п$ = 1,029 Ом; $X_п$ = 0,709 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 1,029)^2 + (1,149 + 0,709)^2)}$ = 2,182 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (1,732·2,182) = 2,65 кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.7 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К7, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088

[Фидер 1] Точка К8 – узел 3, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К8: $Z_{рез}$ = 2,182 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 2,29 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 22,91 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К8 (таблица 4.3.8): $R_п$ = 1,029 Ом; $X_п$ = 0,709 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 1{,}029)^2 + (1{,}149 + 0{,}709)^2)}$ = 2,182 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00$ = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (2 \cdot 2{,}182)$ = 2,29 кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.8 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К8, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088

[Фидер 1] Точка К9 – узел 4, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К9: $Z_{рез}$ = 1,305 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 4,42 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 76,61 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К9 (таблица 4.3.9): $R_п$ = 0,354 Ом; $X_п$ = 0,069 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 0{,}354)^2 + (1{,}149 + 0{,}069)^2)} = 1{,}305$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 1{,}305) = 4{,}42$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 4 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.9 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К9, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
4	0,3544	0,0688

[Фидер 1] Точка К10 – узел 4, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К10: $Z_{рез} = 1{,}305$ Ом. Расчётный ток КЗ: $I_{max} = 3{,}83$ кА. Мощность КЗ: $S_{кз} = 38{,}31$ МВА.

Сопротивление источника: $R_с = 0{,}115$ Ом; $X_с = 1{,}149$ Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К10 (таблица 4.3.10): $R_п = 0{,}354$ Ом; $X_п = 0{,}069$ Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 0{,}354)^2 + (1{,}149 + 0{,}069)^2)} = 1{,}305$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (2 \cdot 1{,}305) = 3{,}83$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 4 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.10 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К10, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
4	0,3544	0,0688

[Фидер 1] Точка К11 – узел 5, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К11: $Z_{рез}$ = 2,182 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 2,65 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 45,83 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К11 (таблица 4.3.11): $R_п$ = 1,029 Ом; $X_п$ = 0,709 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 1{,}029)^2 + (1{,}149 + 0{,}709)^2)} = 2{,}182$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 2{,}182) = 2{,}65$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.11 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К11, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088

[Фидер 1] Точка К12 – узел 5, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К12: $Z_{рез}$ = 2,182 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 2,29 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 22,91 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К12 (таблица 4.3.12): $R_п$ = 1,029 Ом; $X_п$ = 0,709 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 1{,}029)^2 + (1{,}149 + 0{,}709)^2)} = 2{,}182$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (2 \cdot 2{,}182) = 2{,}29$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.12 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К12, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088

[Фидер 1] Точка К13 – узел 6, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К13: $Z_{рез}$ = 3,205 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,80 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 31,20 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К13 (таблица 4.3.13): $R_п$ = 1,789 Ом; $X_п$ = 1,429 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 1{,}789)^2 + (1{,}149 + 1{,}429)^2)}$ = 3,205 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00$ = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 3{,}205)$ = 1,80 кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.13 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К13, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288

[Фидер 1] Точка К14 – узел 6, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К14: $Z_{рез}$ = 3,205 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,56 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 15,60 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К14 (таблица 4.3.14): $R_п$ = 1,789 Ом; $X_п$ = 1,429 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 1{,}789)^2 + (1{,}149 + 1{,}429)^2)}$ = 3,205 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (2·3,205) = 1,56 кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.14 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К14, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288

[Фидер 1] Точка К15 – узел 7, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К15: $Z_{рез}$ = 4,035 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,43 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 24,79 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К15 (таблица 4.3.15): $R_п$ = 2,503 Ом; $X_п$ = 1,921 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 2{,}503)^2 + (1{,}149 + 1{,}921)^2)}$ = 4,035 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (1,732·4,035) = 1,43 кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.15 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К15, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208

[Фидер 1] Точка К16 – узел 7, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К16: $Z_{рез}$ = 4,035 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,24 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 12,39 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К16 (таблица 4.3.16): $R_п$ = 2,503 Ом; $X_п$ = 1,921 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 2,503)^2 + (1,149 + 1,921)^2)} = 4,035$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1,000 \cdot 10,00 = 10,00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (2 \cdot 4,035) = 1,24$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.16 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К16, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208

[Фидер 1] Точка К17 – узел 8, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К17: $Z_{рез}$ = 4,666 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,24 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 21,43 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К17 (таблица 4.3.17): $R_п$ = 3,038 Ом; $X_п$ = 2,290 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}038)^2 + (1{,}149 + 2{,}290)^2)} = 4{,}666$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 4{,}666) = 1{,}24$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 8 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.17 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К17, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
8	3,0383	2,2898

[Фидер 1] Точка К18 – узел 8, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К18: $Z_{рез}$ = 4,666 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,07 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 10,72 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К18 (таблица 4.3.18): $R_п$ = 3,038 Ом; $X_п$ = 2,290 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}038)^2 + (1{,}149 + 2{,}290)^2)} = 4{,}666$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (2 \cdot 4,666) = 1,07$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 8 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.18 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К18, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
8	3,0383	2,2898

[Фидер 1] Точка К19 – узел 9, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К19: $Z_{рез} = 4,785$ Ом. Расчётный ток КЗ: $I_{max} = 1,21$ кА. Мощность КЗ: $S_{кз} = 20,90$ МВА.

Сопротивление источника: $R_с = 0,115$ Ом; $X_с = 1,149$ Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К19 (таблица 4.3.19): $R_п = 3,202$ Ом; $X_п = 2,299$ Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 3,202)^2 + (1,149 + 2,299)^2)} = 4,785$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1,000 \cdot 10,00 = 10,00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10,00 / (1,732 \cdot 4,785) = 1,21$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 9 → 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.19 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К19, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
7	2,5027	1,9208
9	3,2023	2,2988

[Фидер 1] Точка К20 – узел 9, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К20: $Z_{рез}$ = 4,785 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,04 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 10,45 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К20 (таблица 4.3.20): $R_п$ = 3,202 Ом; $X_п$ = 2,299 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}202)^2 + (1{,}149 + 2{,}299)^2)}$ = 4,785 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (2·4,785) = 1,04 кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 9 → 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.20 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К20, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208
9	3,2023	2,2988

[Фидер 1] Точка К21 – узел 10, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К21: $Z_{рез}$ = 4,035 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,43 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 24,79 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К21 (таблица 4.3.21): $R_п$ = 2,503 Ом; $X_п$ = 1,921 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 2{,}503)^2 + (1{,}149 + 1{,}921)^2)} = 4{,}035$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 4{,}035) = 1{,}43$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 10 → 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.21 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К21, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208
10	2,5027	1,9208

[Фидер 1] Точка К22 – узел 10, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К22: $Z_{рез} = 4{,}035$ Ом. Расчётный ток КЗ: $I_{max} = 1{,}24$ кА. Мощность КЗ: $S_{кз} = 12{,}39$ МВА.

Сопротивление источника: $R_с = 0{,}115$ Ом; $X_с = 1{,}149$ Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К22 (таблица 4.3.22): $R_п = 2{,}503$ Ом; $X_п = 1{,}921$ Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 2{,}503)^2 + (1{,}149 + 1{,}921)^2)} = 4{,}035$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (2 \cdot 4{,}035) = 1{,}24$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 10 → 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.22 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К22, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208
10	2,5027	1,9208

[Фидер 1] Точка К23 – узел 11, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К23: $Z_{рез}$ = 4,666 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,24 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 21,43 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К23 (таблица 4.3.23): $R_п$ = 3,038 Ом; $X_п$ = 2,290 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0,115 + 3,038)^2 + (1,149 + 2,290)^2)}$ = 4,666 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (1,732·4,666) = 1,24 кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 11 → 8 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.23 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К23, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
8	3,0383	2,2898
11	3,0383	2,2898

[Фидер 1] Точка К24 – узел 11, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К24: $Z_{рез}$ = 4,666 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,07 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 10,72 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К24 (таблица 4.3.24): $R_п$ = 3,038 Ом; $X_п$ = 2,290 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}038)^2 + (1{,}149 + 2{,}290)^2)}$ = 4,666 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез})$ = 10,00 / (2·4,666) = 1,07 кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 11 → 8 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.24 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К24, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
8	3,0383	2,2898
11	3,0383	2,2898

[Фидер 1] Точка К25 – узел 12, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К25: $Z_{рез}$ = 5,089 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,13 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 19,65 МВА.

Сопротивление источника: $R_с$ = 0,115 Ом; $X_с$ = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К25 (таблица 4.3.25): $R_п$ = 3,395 Ом; $X_п$ = 2,536 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}395)^2 + (1{,}149 + 2{,}536)^2)}$ = 5,089 Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном}$ = 1,000·10,00 = 10,00 кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3}\cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732\cdot 5{,}089) = 1{,}13$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 12 → 8 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.25 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К25, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
8	3,0383	2,2898
12	3,3953	2,5358

[Фидер 1] Точка К26 – узел 12, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К26: $Z_{рез} = 5{,}089$ Ом. Расчётный ток КЗ: $I_{max} = 982$ А. Мощность КЗ: $S_{кз} = 9{,}82$ МВА.

Сопротивление источника: $R_с = 0{,}115$ Ом; $X_с = 1{,}149$ Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К26 (таблица 4.3.26): $R_п = 3{,}395$ Ом; $X_п = 2{,}536$ Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}395)^2 + (1{,}149 + 2{,}536)^2)} = 5{,}089$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k\cdot U_{ном} = 1{,}000\cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2\cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (2\cdot 5{,}089) = 0{,}98$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 12 → 8 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.26 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К26, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
6	1,7885	1,4288
8	3,0383	2,2898
12	3,3953	2,5358

[Фидер 1] Точка К27 – узел 13, Трёхфазное КЗ (К(3))

Результирующее сопротивление в точке К27: $Z_{рез}$ = 4,785 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,21 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 20,90 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К27 (таблица 4.3.27): $R_п$ = 3,202 Ом; $X_п$ = 2,299 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_c + R_п)^2 + (X_c + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}202)^2 + (1{,}149 + 2{,}299)^2)} = 4{,}785$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(3)}_к = U_{расч} / (\sqrt{3} \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (1{,}732 \cdot 4{,}785) = 1{,}21$ кА (1).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 13 → 9 → 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.27 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К27, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208
9	3,2023	2,2988
13	3,2023	2,2988

[Фидер 1] Точка К28 – узел 13, Двухфазное КЗ А–В (К(2))

Результирующее сопротивление в точке К28: $Z_{рез}$ = 4,785 Ом. Расчётный ток КЗ: I_{max} = 1,04 кА. Мощность КЗ: $S_{кз}$ = 10,45 МВА.

Сопротивление источника: R_c = 0,115 Ом; X_c = 1,149 Ом.

Сопротивление пути от шин источника до точки К28 (таблица 4.3.28): $R_п$ = 3,202 Ом; $X_п$ = 2,299 Ом.

Результирующее сопротивление: $Z_{рез} = \sqrt{((R_с + R_п)^2 + (X_с + X_п)^2)} = \sqrt{((0{,}115 + 3{,}202)^2 + (1{,}149 + 2{,}299)^2)} = 4{,}785$ Ом (3).

Расчётное напряжение в максимальном режиме: $U_{расч} = k \cdot U_{ном} = 1{,}000 \cdot 10{,}00 = 10{,}00$ кВ (2).

Ток КЗ: $I^{(2)}_к = U_{расч} / (2 \cdot Z_{рез}) = 10{,}00 / (2 \cdot 4{,}785) = 1{,}04$ кА (5).

Путь протекания тока КЗ (от точки повреждения к источнику): 13 → 9 → 7 → 6 → 5 → 3 → 2 → 1 → 0.

Таблица 4.3.28 – Сопротивление пути от шин источника до узлов пути к точке К28, приведённое к ступени 10,00 кВ

Узел	Rп, Ом	Xп, Ом
0	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000
2	0,3544	0,0688
3	1,0293	0,7088
5	1,0293	0,7088
6	1,7885	1,4288
7	2,5027	1,9208
9	3,2023	2,2988
13	3,2023	2,2988

5. Проверка коммутационного оборудования

Условие проверки: I_откл.ном ≥ I_КЗ в точке, которую аппарат обязан отключить. По каждому аппарату берётся максимум из рассчитанных повреждений по току собственной ветви на стороне аппарата. Учитываются все источники и распределение токов по параллелям. Если ближайшая рассчитанная точка удалена от аппарата, ток у его собственных зажимов выше расчётного, поэтому положительный результат по такой точке не подтверждается. Наибольший ток КЗ в схеме – 5.00 кА – справочное значение в точке повреждения; его нельзя напрямую сравнивать с аппаратом другой ступени напряжения. Результаты без токов ветвей или с оценочными исходными данными не подтверждают пригодность оборудования. Фазные токи ветвей несимметричных КЗ через трансформаторы требуют учёта векторной группы и обмоток Z0 и пока не используются для проверки аппаратов.

Таблица 5.1 – Проверка коммутационного оборудования по отключающей способности

Аппарат	Тип	Iоткл. ном.	IКЗ расч.	Расчётная точка	Результат
CB_Q1	Выключатель	20,00 кА	5,00 кА	К3 (узел 1)	✓ Проходит
CB_Q2	Выключатель	20,00 кА	2,65 кА	К11 (узел 5)	✓ Проходит

6. Выводы

1. Максимальный расчётный ток КЗ составил 5,00 кА и имеет место в узле 0 при Трёхфазное КЗ (K(3)).

2. Количество рассчитанных точек повреждения – 14. Результаты могут использоваться в пределах указанных допущений расчётной модели.

3. Всё проверенное коммутационное оборудование удовлетворяет условию отключающей способности.