

Электрооборудование:

03.03.2025, 05.03.2025, 06.03.2025

Расчет главы 8 курсовой проект.

## 8 РАСЧЕТ ТОКОВ К.З. ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

8.1 Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение к.з. в сети или в элементах электрооборудования вследствие повреждения изоляции или не правильных действий обслуживающего персонала.

При расчете токов к.з. определяют следующие величины:

- $I_{\infty k}$  установившееся значение тока трехфазного металлического к.з. для проверки на термическую прочность электрических аппаратов и кабелей кА;
- $i_{yk}$  ударный ток к.з. (мгновенное значение) для проверки электрических аппаратов на динамическую устойчивость кА;
- $I_{yk}$  действующее значение полного трехфазного тока к.з. для проверки электрических аппаратов на динамическую устойчивость в первый период процесса протекания к.з. кА;
- $I_k^{(2)}$  ток двухфазного к.з. для проверки выбранных уставок МТЗ на надежность срабатывания, кА;
- $S_k$  мощность к.з. для проверки выключателей по отключаемой способности МВА.

При к.з. удаленных точках (в большинстве случаев к ним относятся высоковольтные карьерные сети внутреннего электроснабжения) принято считать, что полностью отсутствует переходный режим к.з. [3.] не изменяется и для этих моменты времени имеет одинаковое (установившееся) значение

$$I_K = I_{l=0,2} = I_{\infty K}$$

или другими словами величины токов к.з. в любой момент времени от  $t=0$  до  $t=\infty$  равны между собой.

К.з. в удаленной точке практически не вызывает изменений напряжения генератора на электростанции (или на выводах трансформатора питающей РПС). Это относится к точкам, питающимся от источника неограниченной (бесконечной) мощности. Под источником не ограниченной мощности понимают такой источник питания напряжения на зажимах которого остается

практически неизменным при любых изменениях тока и к.з. в присоединенной к нему маломощной сети. В этом случае можно применять упрощенный метод расчетов токов к.з. в относительных единицах.

При упрощенных расчетах к.з. необходимо знать одну из трех величин на шинах РПС:

1. Мощность трехфазного к.з.  $S_k$ , МВ·А;
2. Действующее значение установившегося тока к.з.  $I_{\infty}$ ккА;
3.  $X_c$  бесконечной мощности, Ом.

Мощность трехфазного к.з. сообщается энергосистемой по запросу проектных организаций, а при курсовом проектировании задается руководителем проекта. Расчет токов к.з. в распределительной сети выше 1000В рекомендуется производить в относительных единицах упрощенным методом. Этот метод предполагает, что активными и емкостными сопротивлениями в виду их малого влияния на ток к.з. можно пренебречь и учитывать только индуктивное сопротивление отдельных элементов короткозамкнутой цепи(-трансформаторов, воздушных линий, кабелей, реакторов и д.р.)

## 8.2 Порядок расчета токов к.з.

8.2.1 Составляется однолинейная расчетная схема, соответствующая нормальному режиму работы системы электроснабжения. Источником питания места к.з. принимаются внешняя система электроснабжения и синхронные, и асинхронные двигатели мощностью более 1000кВт.

Пример:

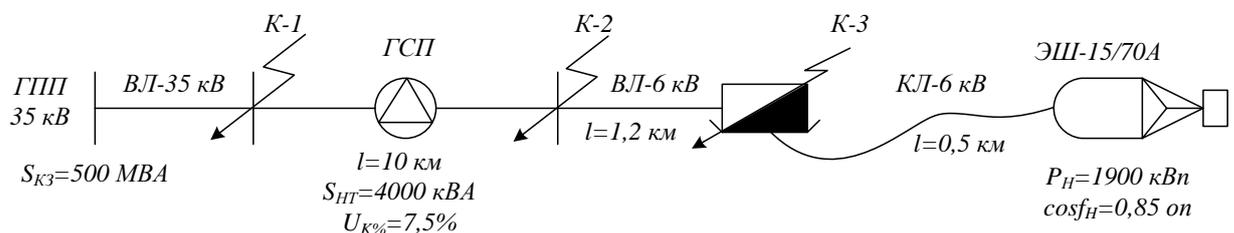


Рисунок 8.1. Расчётная схема

8.2.2. По однолинейной расчётной схеме составляется схема замещения, в которой все элементы расчётной схемы (трансформаторы, воздушные и кабельные ЛЭП, сетевые двигатели экскаваторов, питающая энергосистемам т.п.) изображаются в виде индуктивных сопротивлений, а сетевые двигатели экскаваторов и других горных машин и питающая

энергосистема в виде генераторов электроэнергии. Схема замещения выполняется также в однолинейном изображении с указанием порядковых номеров сопротивлений, их величин, выраженных в относительных единицах, приведённых к базисным условиям. Пример:

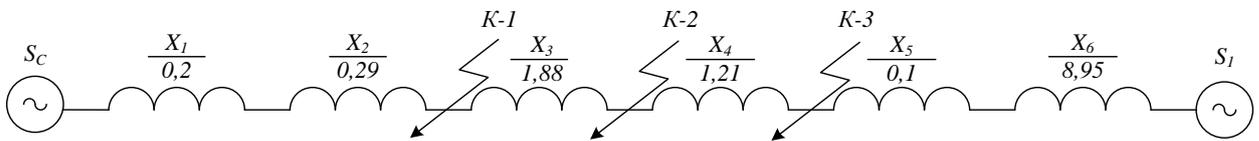


Рисунок 8.2. Схема замещения

8.2.3. Выбираются расчётные точки к.з. Выбор места и вида к.з. производится согласно [ПУЭ]. Расчётные точки к.з. проставляются в расчётной схеме и схеме замещения.

8.2.4. Задаются базисными условиями, в качестве которых обычно выступают базисная мощность и базисные напряжения. Базисная мощность - это произвольное значение мощности, соизмеримое с мощностью питающей системы ( $S_{к.з.на}$  на шинах ГПП). Обычно за базисную мощность  $S_6$  принимают величину 10, 100, 1000 и т.п. мегавольтампер (МВ·А), хотя можно брать любое значение (например: 75,4 МВА) от этого величина расчётного тока к.з. не изменится.

В качестве базисного напряжения берут только стандартные значения напряжения, напряжения существующего в однолинейной схеме электроснабжения (рис. 8.1). Ряд стандартных значений напряжения вкВ: 6,3, 10,5, 37, 115.

Базисные условия необходимы для того, чтобы выразить индуктивные сопротивления схемы замещения (рис.8.2.) в процентном отношении к базисным условиям (принимаем за 100 %).

8.2.5. Определяются индуктивные сопротивления схемы замещения и приводятся к базисным условиям согласно таблицы 8.1.

8.2.6. Используя формулы преобразования, приведённые в таблице 8.2. схему замещения приводят к простейшему виду. Смысл этого преобразования приводится к следующему: взяв одну из расчётных к.з. (остальные точки учитываются при расчёте других точек к.з.) приводят исходную схему замещения к виду изображённому на рис. 8.3 или 8.4.

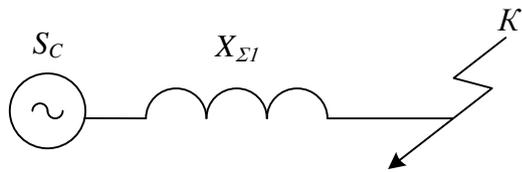
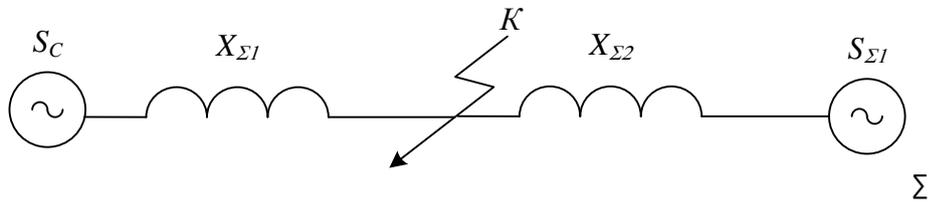


Рисунок 8.3.



После этого преобразования схемы замещения определяют установившееся значение тока трёхфазного к.з. в расчётной точке. Для рис. 8.3.

$$I_{\infty_{KC}} = \frac{S_C}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot X_{\Sigma 1}}, \text{ кА}$$

где  $X_{\Sigma 1}$  - суммарное сопротивление цепи;

$U_6$  - базисное напряжение той ступени напряжения, на которой находится расчётная точка к.з.

Для рис. 8.4.

$$I_{\infty_K} = I_{\infty_{KC}} + I_{\infty_{CD}}, \text{ кА}$$

где  $I_{\infty_{CD}}$  - установившееся значение тока к.з. посылаемого сетевым двигателем в точку к.з. кА.

Для того чтобы определить  $K_t$  определяют расчетное индуктивное сопротивление цепи синхронных или асинхронных двигателей по формуле:

$$X_{расч.сд} = X_{\Sigma 2} \cdot \frac{S_{\Sigma 1}}{S_6} + 0,07$$

где  $X_{\Sigma 2}$  - суммарное сопротивление цепи от электродвигателей до места к.з.;

$S_{\Sigma 1}$  - суммарная мощность двигателей или двигателя,  $MВ \cdot А$ ;

$S_b$  - базисная мощность,  $MВ \cdot А$ ;

0,07 - цифра, учитывающая наличие у синхронных двигателей пусковой обмотки.

При  $X_{РАСЧ.Д} > 3$  электродвигателем как источником питания к.з. пренебрегают. После определения  $X_{РАСЧ.Д}$  определяют кратность токов к.з. посылаемого синхронными двигателями  $K_t$  по формуле:

$$I_{\infty кз} = K_t \cdot \frac{S_{\Sigma 1}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, кА$$

где  $U_n$  - номинальное напряжение сетевого двигателя,  $кВ$ .

Величину  $K_t$  определяют по расчетным кривым затухания. Изображенным на рисунке 9.5 [3].

## РАСЧЕТНЫЕ КРИВЫЕ ЗАТУХАНИЯ

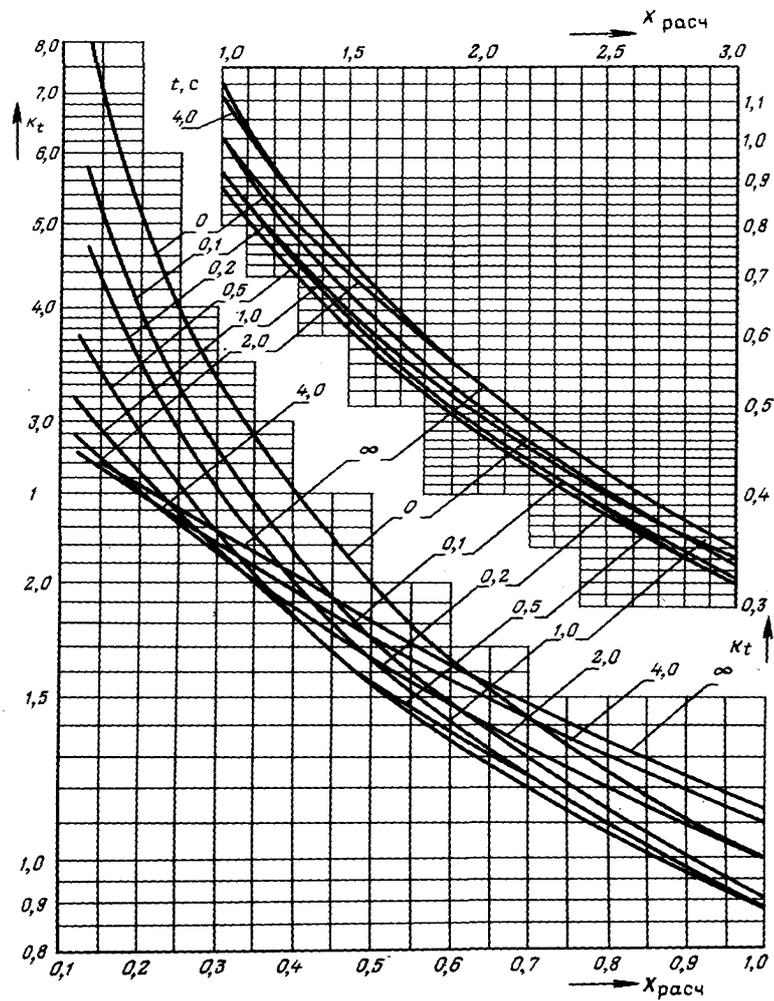


Рисунок Кривые затухания

После определения суммарного тока к.з. в точке к.з. вычисляют остальные параметры к.з. в данной расчетной точке по следующим формулам.

Ударный ток к.з.

$$i_y = 2,55 \cdot I_{\infty K}, \text{ кА}$$

Действующее значения полного тока к.з.

$$I_y = 1,52 \cdot I_{\infty K}, \text{ кА}$$

Ток двухфазного тока к.з.

$$I_V^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\infty K}, \text{ кА}$$

Мощность трехфазного тока

$$S_K = \sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_{\infty K}, \text{ МВА}$$

где  $U_0$  - базисное напряжение той ступени напряжения, на которой находится расчетная точка к.з., кВ.

По параметрам к.з. определенным в расчётной точке к.з. проверяется коммутационная и защитная аппаратура, которую необходимо установить в данном месте схемы электроснабжения.

## ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА №8

### 8. РАСЧЕТ ТОКОВ К.З. В СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

#### 8.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

8.1.1 Расчёт токов к.з. будет упрощенным методом в относительных единицах.

8.1.2 Согласно заданию участковая подстанция разреза (участка разреза) питается от ГПП, по воздушной ЛЭП напряжением 35кВ и длиной  $L=8$ км. Мощность к.з. на шинах ГПП  $S_K=400$ МВ·А.

#### 8.2. Расчетная часть

8.2.1. Составляем однолинейную расчётную схему

#### РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ГПП

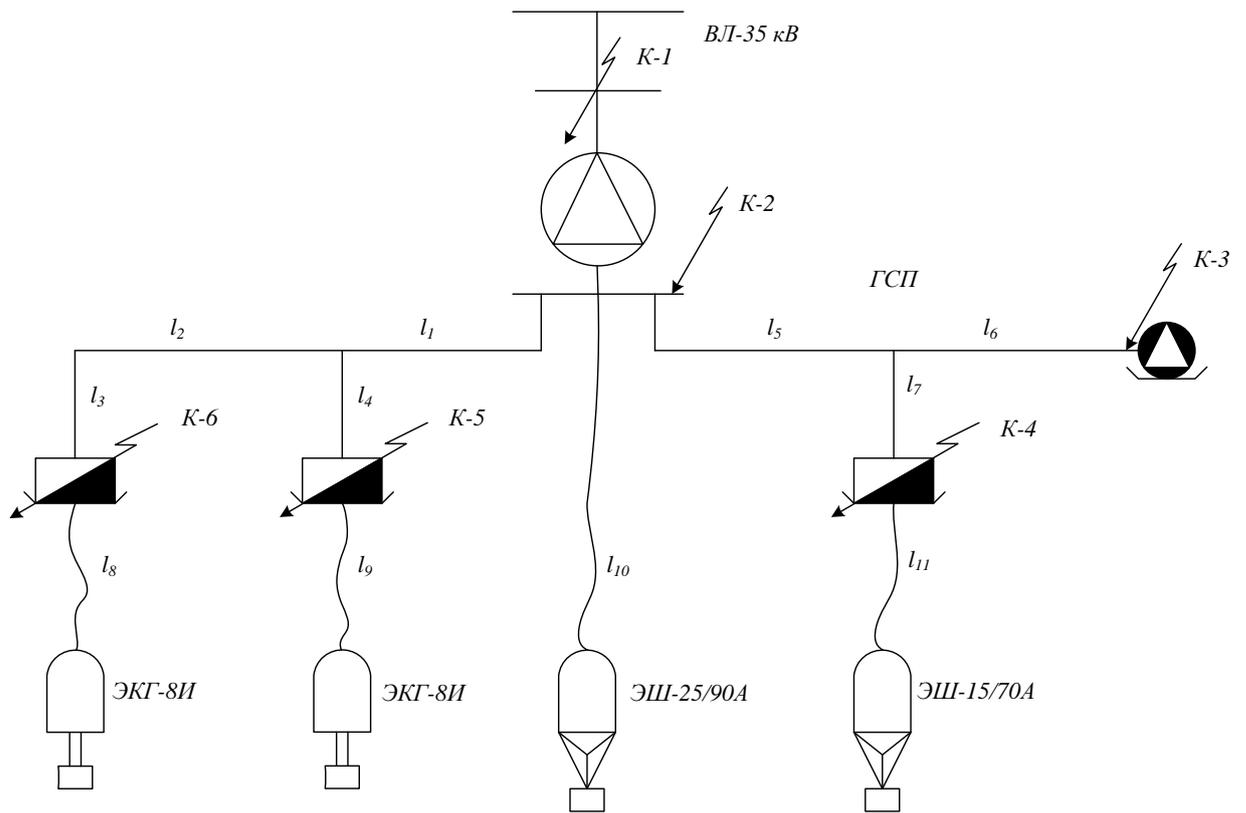


Рисунок 8.1

### 8.2.2. Составляем схему замещения

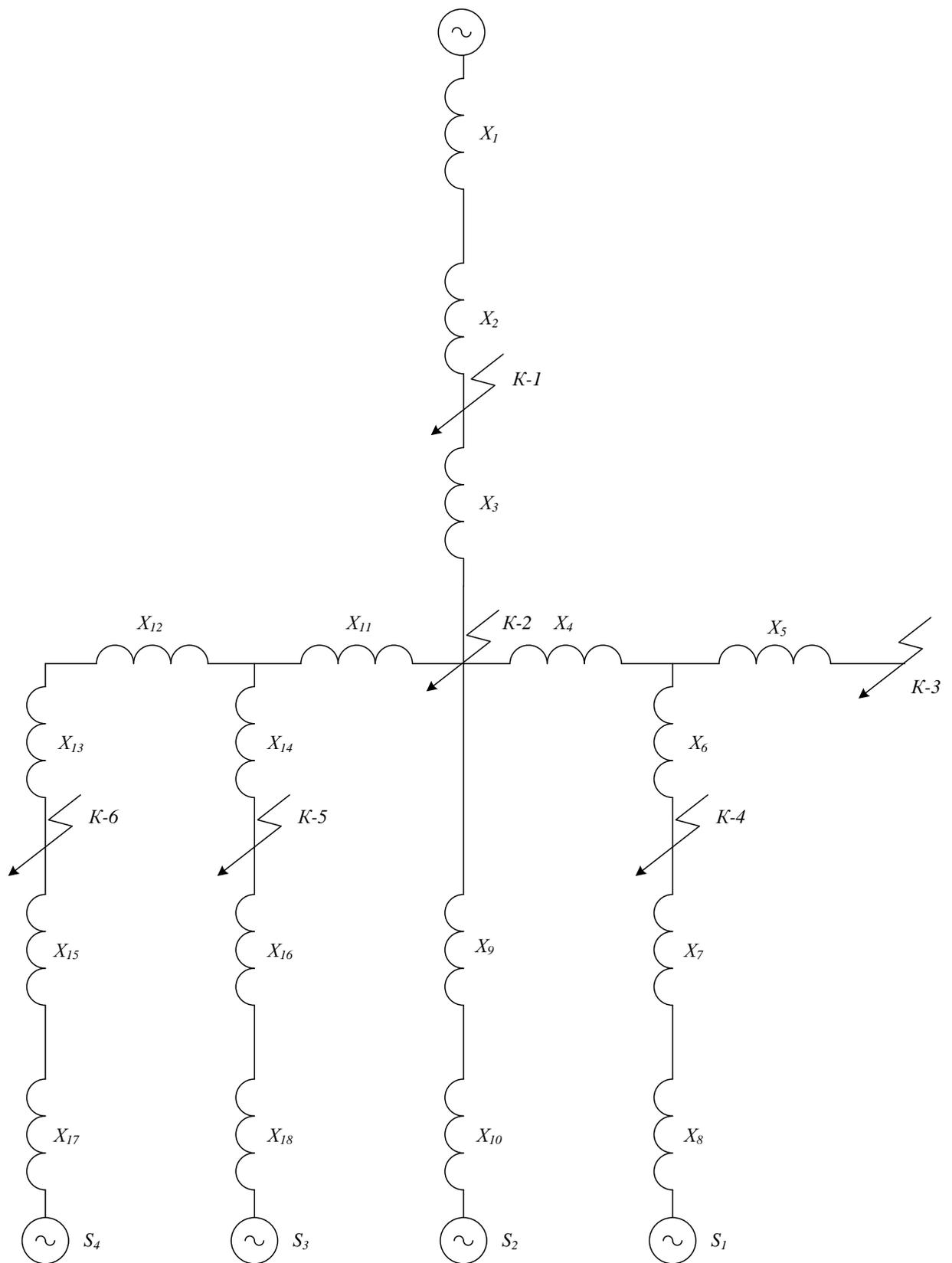


Рисунок 8.2

8.2.3. Выбираем базисные условия

$$X_1 = \frac{S_{\sigma}}{S_{K.3.}} = \frac{100}{400} = 0,25$$

Воздушная ЛЭП напряжением 35кВ

$$X_2 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 8 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,23$$

Двухобмоточный трансформатор ГСП

$$X_3 = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T.}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{4} = 1,88$$

Участки воздушных ЛЭП напряжением 6кВ

$$X_4 = X_0 \cdot l_5 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,286 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,12$$

$$X_5 = X_0 \cdot l_6 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,572 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,58$$

$$X_6 = X_0 \cdot l_7 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,172 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,173$$

$$X_{11} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,786 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,762$$

$$X_{12} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,28 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,288$$

$$X_{13} = X_O \cdot l_3 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,429 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,432$$

$$X_{14} = X_O \cdot l_4 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,4 \cdot 0,358 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,361$$

Гибкие экскаваторные кабели напряжением 6кВ

$$X_7 = X_O \cdot l_{11} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,08 \cdot 0,215 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,043$$

$$X_9 = X_O \cdot l_{10} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,08 \cdot 1,035 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,209$$

$$X_{15} = X_O \cdot l_8 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,08 \cdot 0,172 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,035$$

$$X_{16} = X_O \cdot l_9 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,08 \cdot 0,156 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,032$$

Сетевые двигателя экскаваторов

$$X_8 = 0,2 \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_1} = 0,2 \cdot \frac{100}{1,462} = 13,68$$

$$S_1 = \frac{P_{H_1}}{\cos \varphi_{H_1}} = \frac{1170}{0,8} = 1462 \text{кВ} \cdot \text{А} = 1,462 \text{МВ} \cdot \text{А}$$

$$X_{10} = 0,2 \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_2} = 0,2 \cdot \frac{100}{2,235} = 8,95$$

$$S_2 = \frac{P_{H_2}}{\cos \varphi_{H_2}} = \frac{1900}{0,85} = 2235 \text{кВ} \cdot \text{А} = 2,235 \text{МВ} \cdot \text{А}$$

$$X_{17} = X_{18} = 0,2 \cdot \frac{S_6}{S_3} = 0,2 \cdot \frac{100}{0,578} = 34,6$$

$$S_3 = S_4 = \frac{P_{H_3}}{\cos \varphi_{H_3}} = \frac{P_{H_4}}{\cos \varphi_{H_4}} = \frac{520}{0,9} = 578 \text{кВ} \cdot \text{А} = 0,578 \text{МВ} \cdot \text{А}$$

8.2.5 Определим параметры к.з. в точке К-1 для этого произведём преобразование схемы замещения

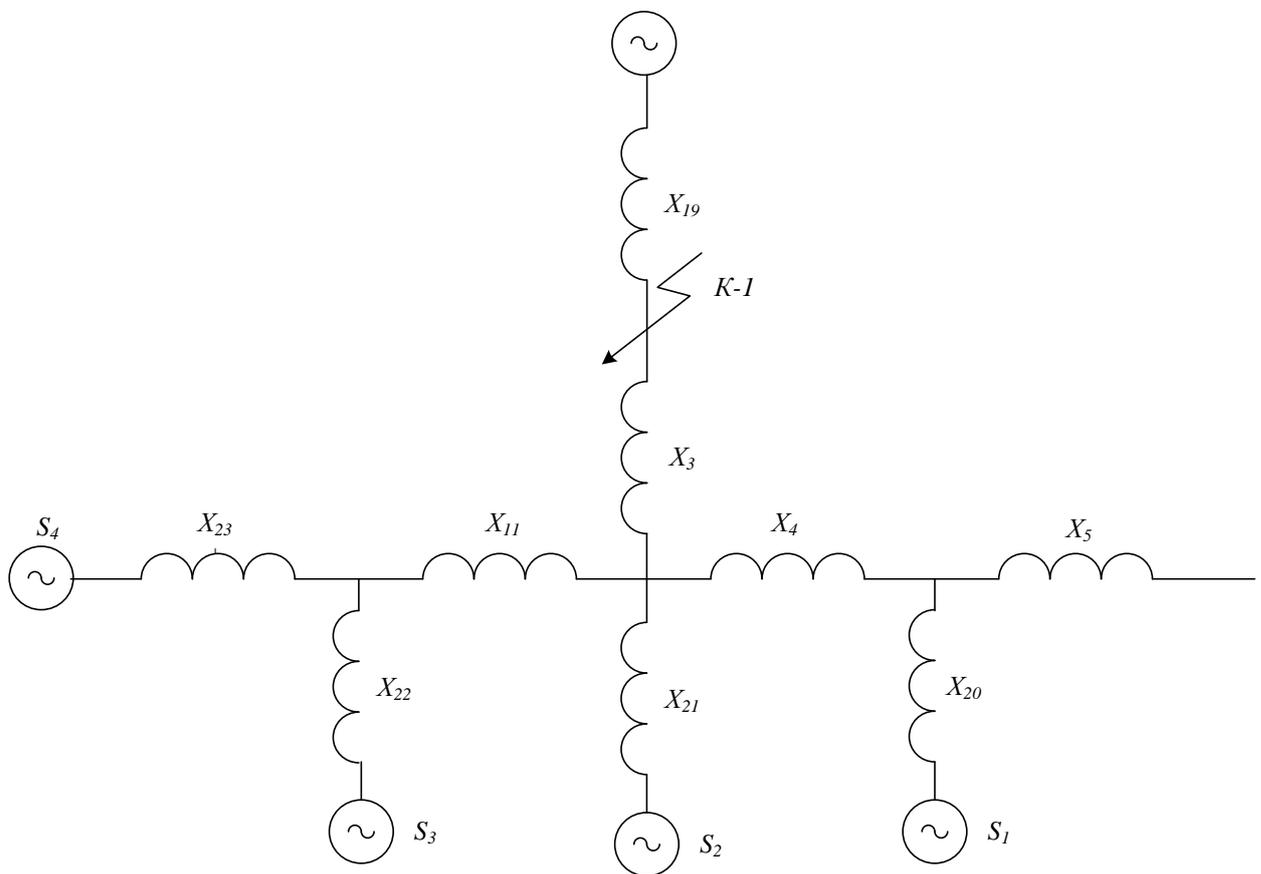


Рисунок 8.3

$$X_{19} = X_1 + X_2 = 0,25 + 0,23 = 0,48$$

$$X_{20} = X_6 + X_7 + X_8 = 0,173 + 0,043 + 0,1368 = 13,896$$

$$X_{21} = X_9 + X_{10} = 0,209 + 8,95 = 9,159$$

$$X_{22} = X_{14} + X_{16} + X_{18} = 0,361 + 0,032 + 34,6 = 34,993$$

$$X_{23} = X_{13} + X_{15} + X_{17} + X_{12} = 0,432 + 0,035 + 34,6 + 0,288 = 35,335$$

Рассмотрим возможность объединить  $S_3$  и  $S_4$

$$\frac{X_{23} \cdot S_4}{X_{22} \cdot S_3} = \frac{35,335 \cdot 0,578}{34,993 \cdot 0,578} = 1,009 \text{ входит в пределы } 0,4-2,5$$

Таким образом,  $S_4$  и  $S_3$  объединить

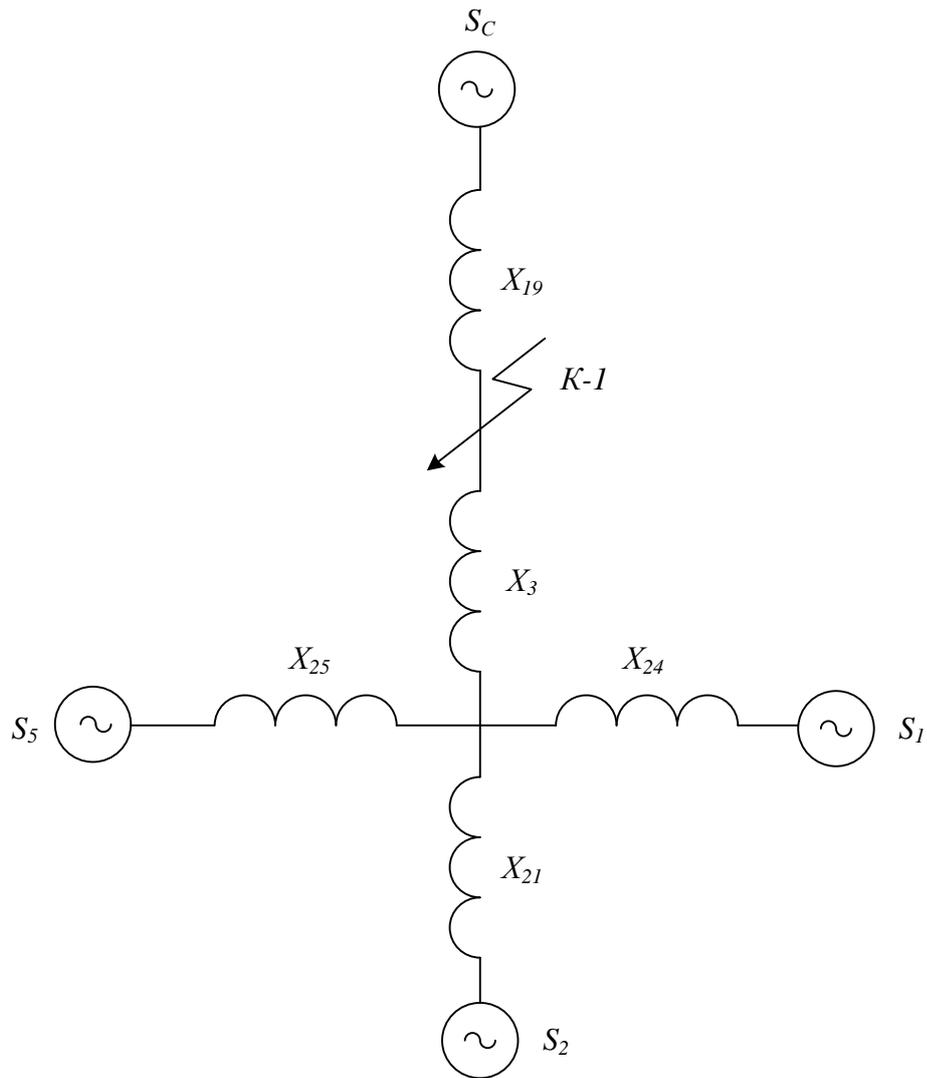


Рисунок 8.4

$$X_{24} = \frac{X_5 \cdot X}{X_5 + X} + X_4 = \frac{0,58 \cdot 13,896}{0,58 + 13,896} + 0,12 = 0,677$$

$$X_5 = \frac{X_{22} \cdot X_{23}}{X_{22} + X_{23}} + X_{11} = \frac{34,993 \cdot 35,335}{34,993 + 35,335} + 0,792 = 18,373$$

$$S_5 = S_3 + S_4 = 0,578 + 0,578 = 1,156 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Рассмотрим возможность объединить \$S\_1\$ и \$S\_2\$

$$\frac{X_{24} \cdot S_1}{X_{21} \cdot S_2} = \frac{0,667 \cdot 1,462}{9,159 \cdot 2,235} = 0,048$$

Таким образом  $S_1$  и  $S_2$  объединить нельзя. Рассмотрим возможность объединить  $S_1$  и  $S_5$ .

$$\frac{X_{24} \cdot S_1}{X_{25} \cdot S_5} = \frac{0,667 \cdot 1,462}{18,377 \cdot 1,156} = 0,046$$

То есть объединению  $S_1$  и  $S_5$  не подлежит. Рассмотрим возможность объединить  $S_2$  и  $S_5$ .

$$\frac{X_{25} \cdot S_5}{X_{21} \cdot S_2} = \frac{18,373 \cdot 1,156}{9,159 \cdot 2,235} = 1,034$$

То есть  $S_2$  и  $S_5$  можно объединить. В итоге получим:

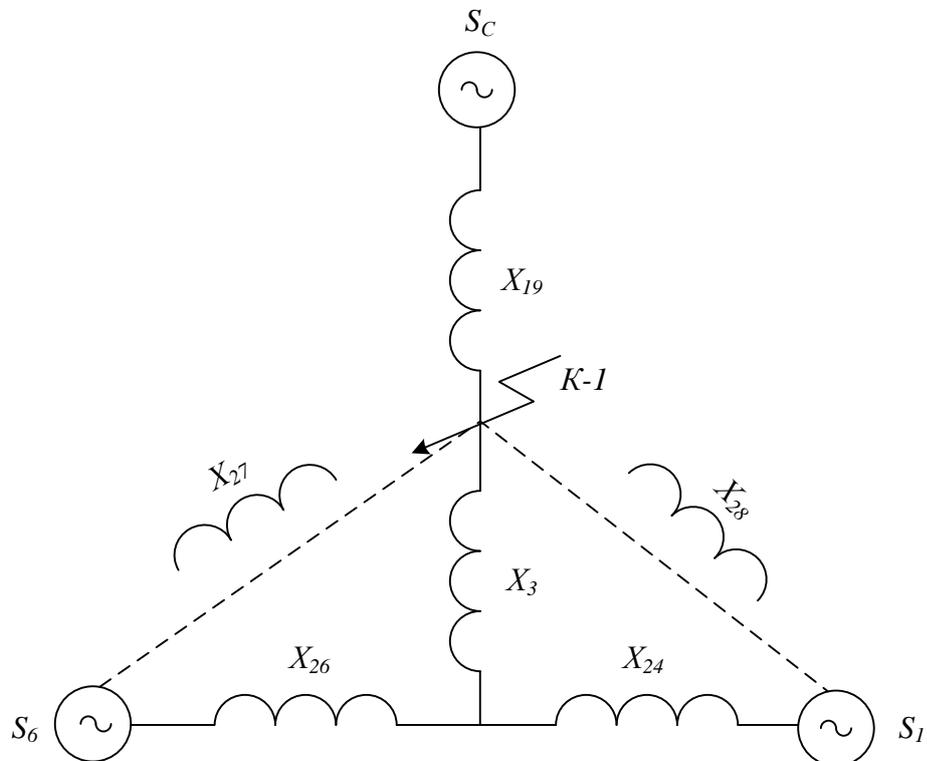


Рисунок 8.5

$$S_6 = S_5 + S_2 = 1,156 + 2,235 = 3,391 \text{ МВ}\cdot\text{А}$$

$$X_{26} = \frac{X_{25} \cdot X_{21}}{X_{25} + X_{21}} = \frac{18,373 \cdot 9,159}{18,373 + 9,159} = 6,112$$

Сопротивления  $X_2$ ,  $X_{24}$  и  $X_{26}$  соединены на звезду. Преобразуем их в треугольник.

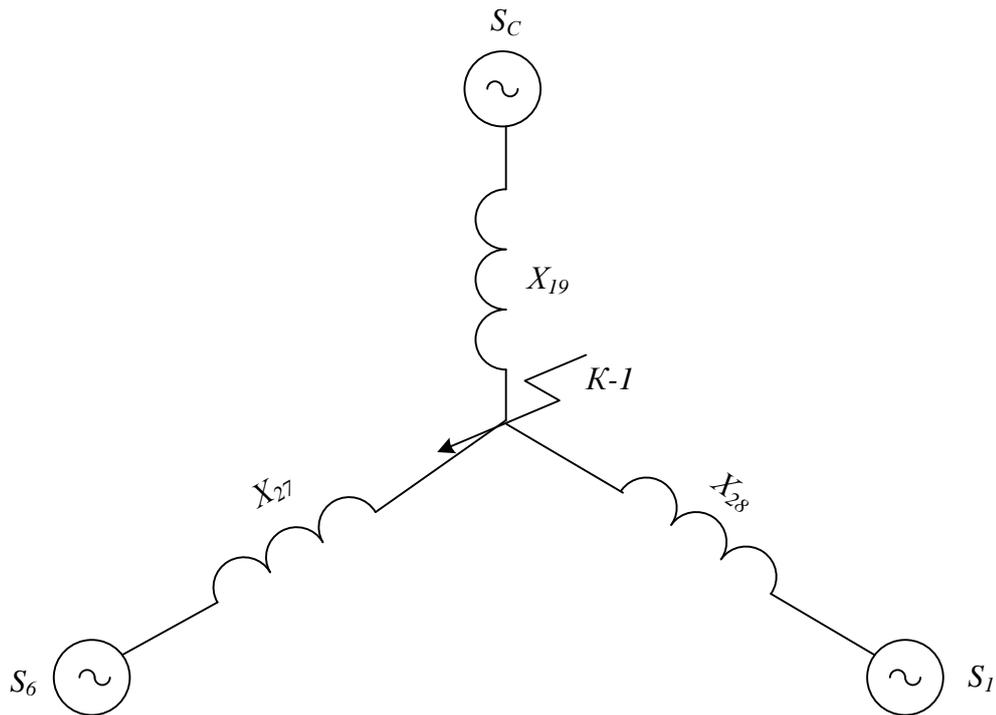


Рисунок 8.6

$$X_{27} = \frac{X_3 \cdot X_{26}}{X_{24}} + X_3 + X_{26} = \frac{1,88 \cdot 6,112}{0,677} + 6,112 = 25,192$$

$$X_{28} = \frac{X_3 \cdot X_{24}}{X_{26}} + X_3 + X_{24} = \frac{1,88 \cdot 0,677}{6,112} + 0,677 = 2,752$$

Определить возможность пренебречь  $S_1$  как источником питания точки К-1.

$$\frac{S_1}{S_C} = \frac{1,462}{100} = 0,01462 < 0,05$$

$$\frac{X_{28}}{X_{19}} = \frac{2,752}{0,48} = 5,73 < 20$$

Таким образом пренебречь  $S_1$  нельзя. Определить возможность пренебречь  $S_6$ .

$$\frac{S_6}{S_C} = \frac{3,391}{100} = 0,03391 < 0,05$$

$$\frac{X_{27}}{X_{19}} = \frac{25,192}{0,48} = 52,5 > 20$$

Поэтому  $S_6$  как источником питания К-1 можно пренебречь. В итоге получаем

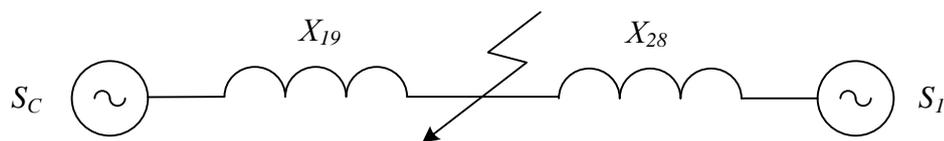


Рисунок 8.7

Ток к.з. в точке К-1 от питающей энергосистемы.

$$I_{\infty_{KC}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot X_{19}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 0,48} = 3,25 \text{ кА}$$

Ток к.з. в точке К-1 от сетевых двигателей  $S_1$

$$I_{\infty_{s1}} = K_t \cdot \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ кА}$$

где  $K_t$  - кратность тока к.з. посылаемого сетевым двигателем  $S_1$ .  
Расчетное сопротивление ветви синхронных двигателей  $S_1$ .

$$X_{PACЧ} = X_{28} \cdot \frac{S_1}{S_\sigma} + 0,07 = 2,752 + \frac{1,462}{100} + 0,07 = 0,11$$

По[3] для  $t=\infty$  и  $X_{PACЧ}=0,11$  определяем  $K_t=4,1$

$$I_{\infty S_1} = 4,1 \cdot \frac{1,462}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,58 \text{ кА}$$

Суммарный ток к.з. к точке К-1

$$I_{\infty K_1} = 3,25 + 0,58 = 3,83 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з. в точке К-1

$$i_{yk1} = 2,55 \cdot I_{\infty K_1} = 2,55 \cdot 3,83 = 9,77 \text{ кА}$$

Действующее значение полного тока к.з в точке К-1

$$I_{yk1} = 1,52 \cdot I_{\infty K_1} = 1,52 \cdot 3,83 = 5,82 \text{ кА}$$

Мощность трёхфазного электрического тока к.з.

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot U_{\sigma 1} \cdot I_{\infty K_1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 3,83 = 246,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

### 8.2.6 Определим параметры в точке К-2

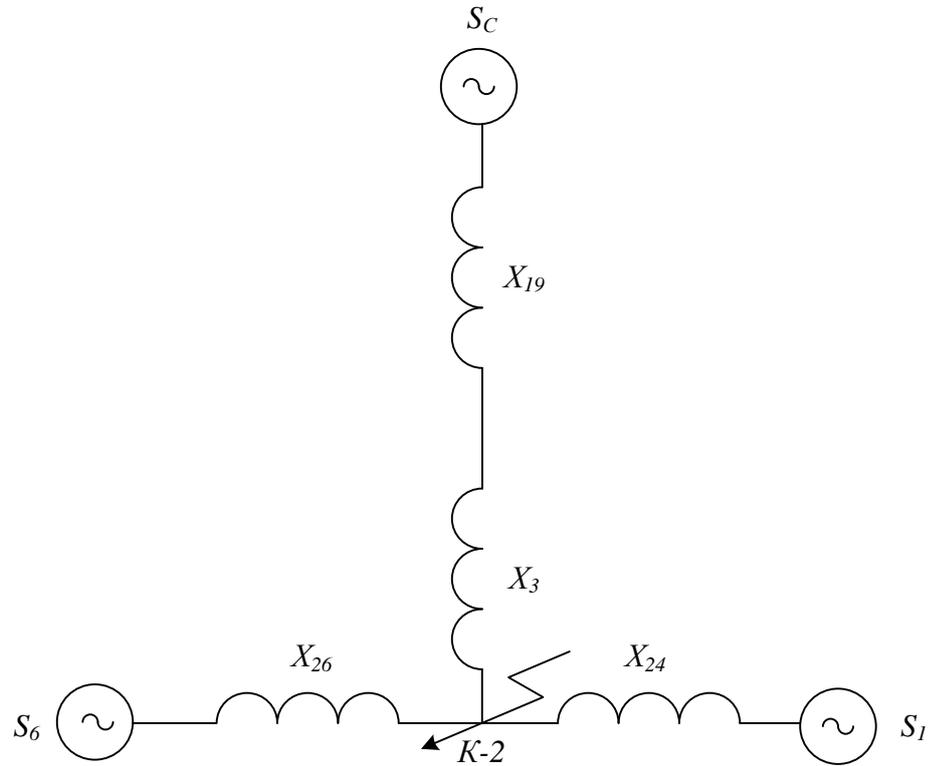


Рисунок 8.8

Произведём преобразование схемы замещения

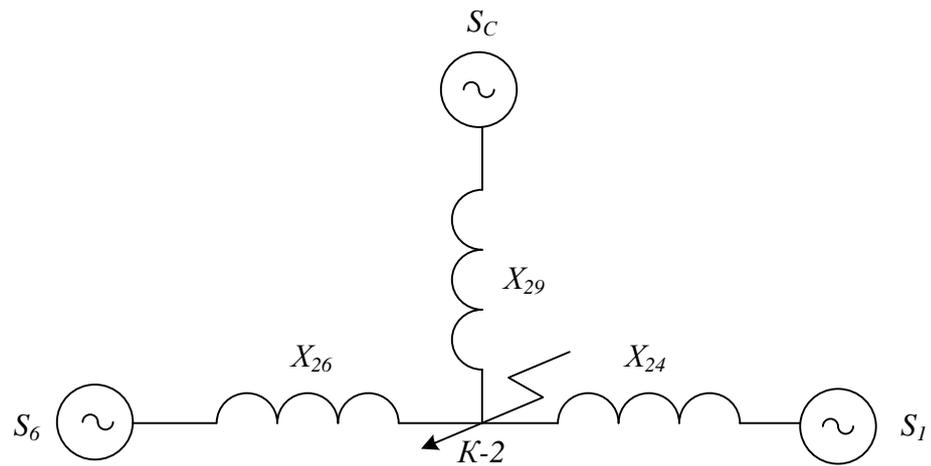


Рисунок 8.9

$$X_{29} = X_{19} + X_3 = 0,48 + 1,88 = 2,36$$

Определим возможность пренебречь  $S_6$

$$\frac{X_6}{X_C} = \frac{3,391}{100} = 0,03391 < 0,05$$

$$\frac{X_{26}}{X_{29}} = \frac{6,112}{2,36} = 2,59 < 20$$

Пренебречь нельзя. Определим возможность пренебречь  $S_1$

$$\frac{S_1}{S_C} = \frac{1,462}{100} = 0,01462 < 0,05$$

$$\frac{X_{24}}{X_{29}} = \frac{0,677}{2,36} = 0,28 < 20$$

Рассмотрим возможность объединить  $S_1$  и  $S_6$

$$\frac{X_{24} \cdot S_4}{X_{26} \cdot S_6} = \frac{1,462 \cdot 0,677}{3,391 \cdot 6,112} = 0,05$$

Таким образом объединять  $S_i$  и  $S_6$  нельзя. В итоге установившегося значение тока к.з. к точке К-2 будет складываться из трех составляющих: тока к.з. от энергосистемы, тока к.з. от  $S_1$  и тока к.з. от  $S_6$ .

Ток к.з. от энергосистемы

$$I_{\infty K_{2c}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot X_{29}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2,36} = 3,89 \text{ кА}$$

Расчетное сопротивление ветви синхронного двигателя  $S_6$

$$X_{PACЧS_6} = X_{26} \cdot \frac{S_6}{S_6} + 0,07 = 6,112 + \frac{3,391}{100} + 0,07 = 0,28$$

По[3] для  $t=\infty$  и  $X_{PACЧ}=0,28$  определяем  $K_t = 3,15$

$$I_{\infty K_2 S_6} = K_t \cdot \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 3,15 \cdot \frac{3,391}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1,03 \text{ кА}$$

Расчетное сопротивление ветви синхронного двигателя  $S_1$

$$X_{PACЧS_1} = X_{24} \cdot \frac{S_1}{S_6} + 0,07 = 0,677 + \frac{1,462}{100} + 0,07 = 0,1$$

По[3] для  $t=\infty$  и  $X_{PACЧ}=0,1$  определяем  $K_t = 4,15$

$$I_{\infty K_2 S_1} = K_t \cdot \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 4,15 \cdot \frac{1,462}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,59 \text{ кА}$$

Суммарный ток к.з. в точке К-2

$$I_{\infty K_2} = 3,89 + 1,03 + 0,59 = 5,51 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з. в точке К-2

$$i_{YK_2} = 2,55 \cdot I_{\infty K_2} = 2,55 \cdot 5,51 = 14,1 \text{ кА}$$

Действующее значение полного тока к.з в точке К-2

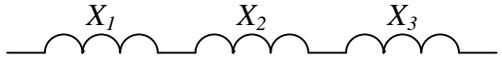
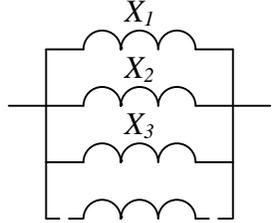
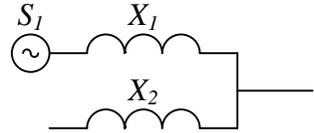
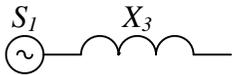
$$i_{YK_2} = 1,52 \cdot I_{\infty K_2} = 1,52 \cdot 5,51 = 8,38 \text{ кА}$$

Мощность к.з. в точке К-2

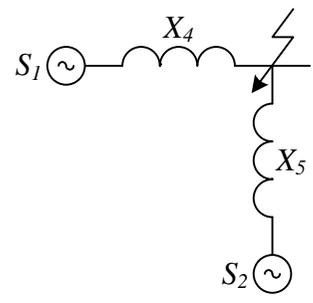
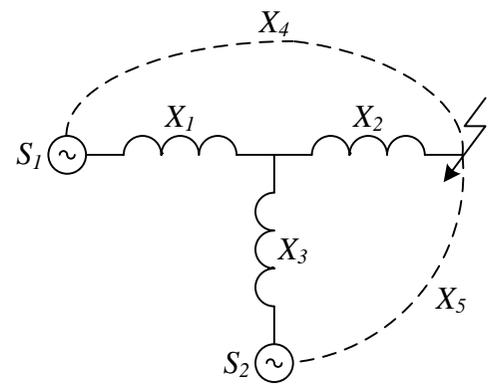
$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot U_{6K} \cdot I_{\infty K2} = \sqrt{3} \cdot 6,38 \cdot 5,51 = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Основные формулы преобразования схем замещения

Таблица 8.2

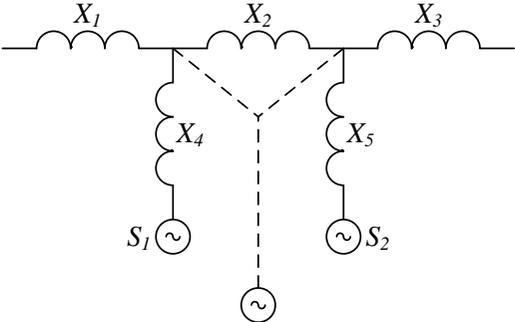
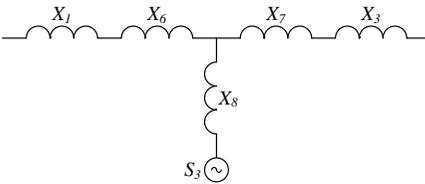
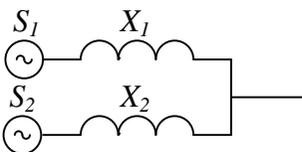
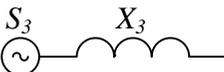
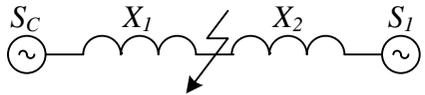
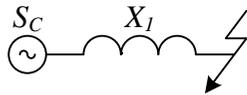
Вид преобразования	Схема замещения до преобразования	Схема замещения после преобразования	Формула преобразования
1	2	3	4
Последовательное соединение			$X_4 = X_1 + X_2 + X_3 + \dots$
Параллельное соединение источников питания	<p style="text-align: center;">без</p> 		$X_4 = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}}$
Параллельное соединение источниками питания	<p style="text-align: center;">с</p> 		$X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$

Звезда с двумя источниками питания преобразуется в треугольник



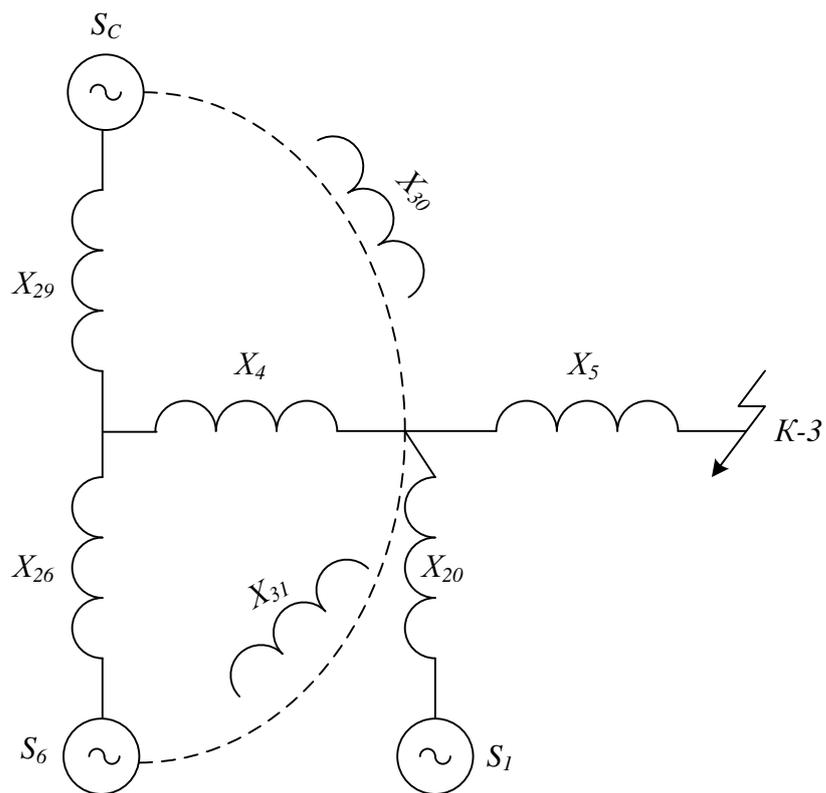
$$X_4 = X_2 + X_1 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$$

$$X_5 = X_2 + X_3 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_1}$$

1	2	3	4
<p>Треугольник с двумя источниками питания преобразуется в звезду</p>			$X_6 = \frac{X_2 \cdot X_4}{X_2 + X_4 + X_5}$ $X_7 = \frac{X_2 \cdot X_5}{X_2 + X_4 + X_5}$ $X_8 = \frac{X_4 \cdot X_5}{X_2 + X_4 + X_5}$ $S_3 = S_1 + S_2$
<p>Условия соединения двух источников:</p> $\frac{S_1 \cdot X_1}{S_2 \cdot X_2} = 0,4 - 2,5$ <p style="text-align: center;">или</p> $\frac{S_2 \cdot X_2}{S_1 \cdot X_1} = 0,4 - 2,5$			$S_3 = S_1 + S_2$ $X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$
<p>Условия, когда синхронным или асинхронным двигателем как источником питания точки к.з. пренебречь по отношению к питающей</p>			<p>Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то пренебрегать двигателем как источником питания точки к.з.</p> <p style="text-align: center;">к.з.</p>

системе $\frac{S_1}{S_c} \leq 0,05 := \frac{X_2}{X_1} \geq 20$			
--	--	--	--

Определим параметры к.з. в точке К-3



8.7.2

Рисунок 8.10

Сопротивления  $X_4$ ,  $X_{29}$ , соединенные в звезду, преобразуем в треугольники

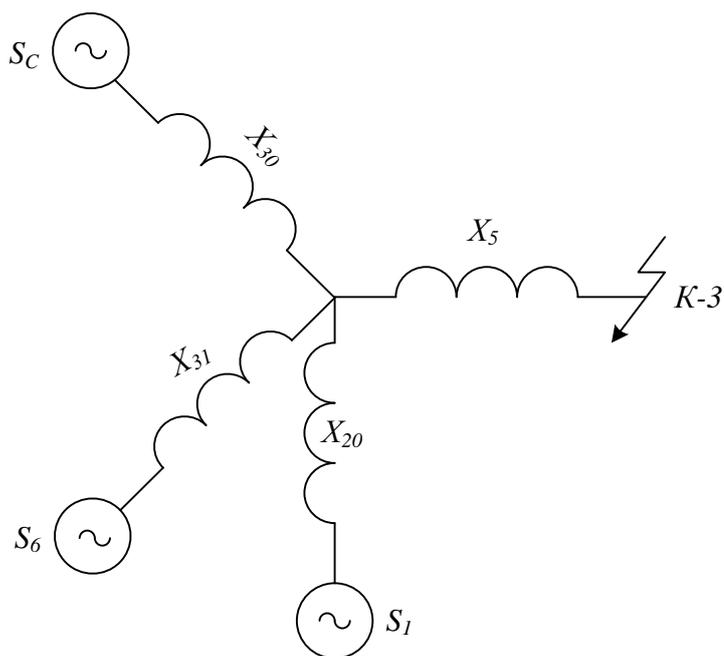


Рисунок 8.11

$$X_{30} = \frac{X_4 \cdot X_{29}}{X_{26}} + X_4 + X_{29} = \frac{0,12 \cdot 2,36}{6,105} + 0,12 + 2,36 = 2,53$$

$$X_{31} = \frac{X_4 \cdot X_{26}}{X_{29}} + X_4 + X_{26} = \frac{0,12 \cdot 6,112}{2,36} + 0,12 + 6,112 = 6,54$$

Определим возможность объединить  $S_1, S_6$

$$\frac{X_{26} \cdot S_1}{X_{31} \cdot S_6} = \frac{1,462 \cdot 13,896}{3,391 \cdot 6,54} = 0,92$$

Таким образом схема замещения примет вид

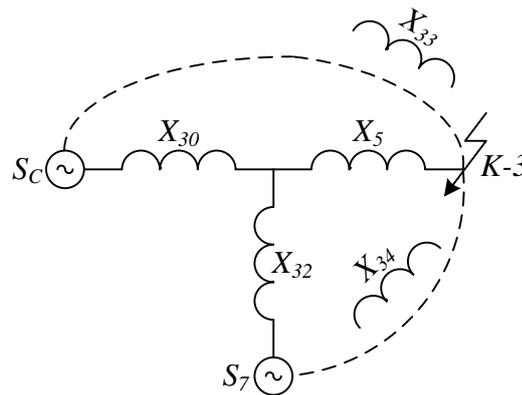


Рисунок 8.12

$$X_{32} = \frac{X_{20} \cdot X_{31}}{X_{20} + X_{31}} = \frac{13,896 \cdot 6,54}{13,896 + 6,54} = 4,45$$

$$S_7 = S_1 + S_6 = 1,462 + 3,391 = 4,853 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Сопровитления  $X_5, X_{30}$  и  $X_{32}$  соединены на звезду, преобразуем их в треугольник.

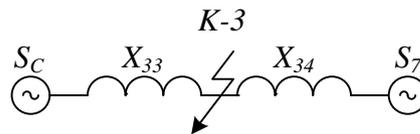


Рисунок 8.13

$$X_{33} = \frac{X_5 \cdot X_{30}}{X_{32}} + X_5 + X_{30} = \frac{0,58 \cdot 2,53}{4,42} + 0,58 + 2,53 = 3,44$$

$$X_{34} = \frac{X_5 \cdot X_{32}}{X_{30}} + X_5 + X_{32} = \frac{0,58 \cdot 4,42}{2,53} + 0,58 + 4,42 = 9,42$$

Ток к.з. в точке К-3 энергосистемы

$$I_{\infty K_3 C} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta_2} \cdot X_{33}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 3,44} = 2,79 \text{ кА}$$

Расчетное сопротивление ветви синхронных двигателей  $S_7$

$$X_{РАСЧ S_7} = X_{34} \cdot \frac{S_7}{S_6} + 0,07 = 9,42 \cdot \frac{4,863}{100} + 0,07 = 0,53$$

По [3] для  $t = \infty$  и  $X_{РАСЧ} = 0,53$  определяем  $K_t = 2,25$

$$I_{\infty K_3 S_7} = K_t \cdot \frac{S_7}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 2,25 \cdot \frac{4,853}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1,05 \text{ кА}$$

Полный ток к.з. в точке К-3

$$I_{\infty K_3} = I_{\infty K_3 C} + I_{\infty K_3 S_7} = 2,79 + 1,05 = 3,84 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з.

$$i_{yK3} = 2,55 \cdot I_{\infty K3} = 2,55 \cdot 3,84 = 9,79 \text{ кА}$$

Действующее значение полного тока

$$i_{K3} = 1,52 \cdot I_{\infty K3} = 1,52 \cdot 3,84 = 5,84 \text{ кА}$$

Двухфазный ток к.з.

$$I_{K3}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\infty K3} = 0,87 \cdot 3,84 = 3,34 \text{ кА}$$

Мощность трёхфазного к.з.

$$S_{K3} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi 2} \cdot I_{\infty K3} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 3,84 = 41,9 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

9.2.8 Определим параметры к.з. в точке К-4

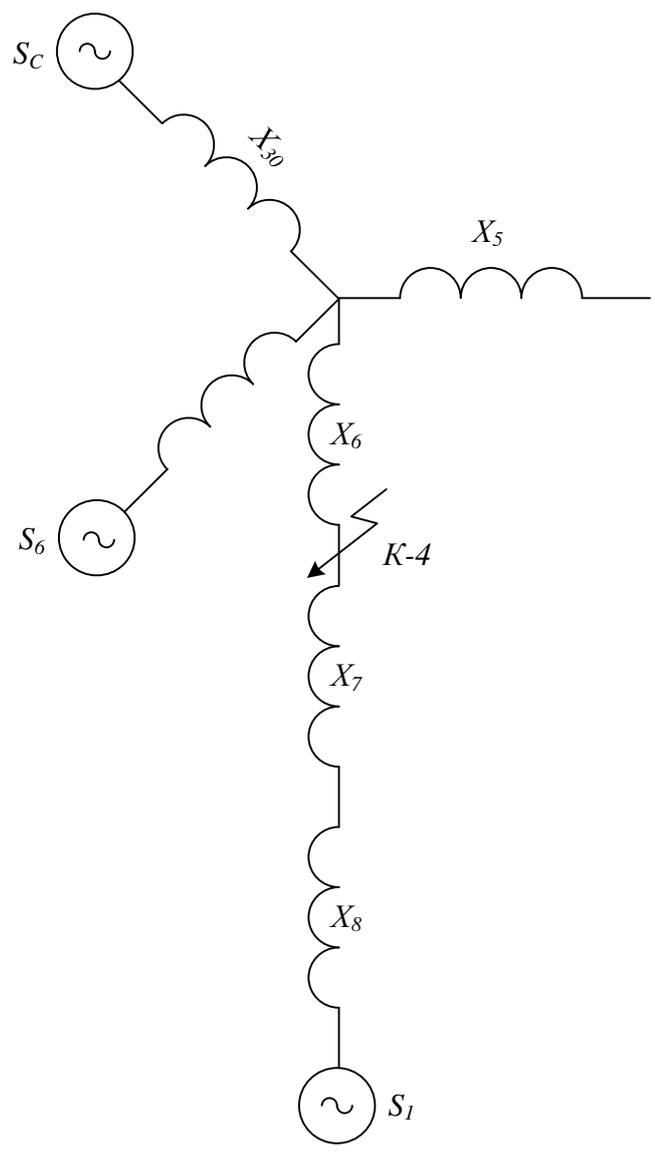


Рисунок 8.14

Произведём преобразование схемы замещения

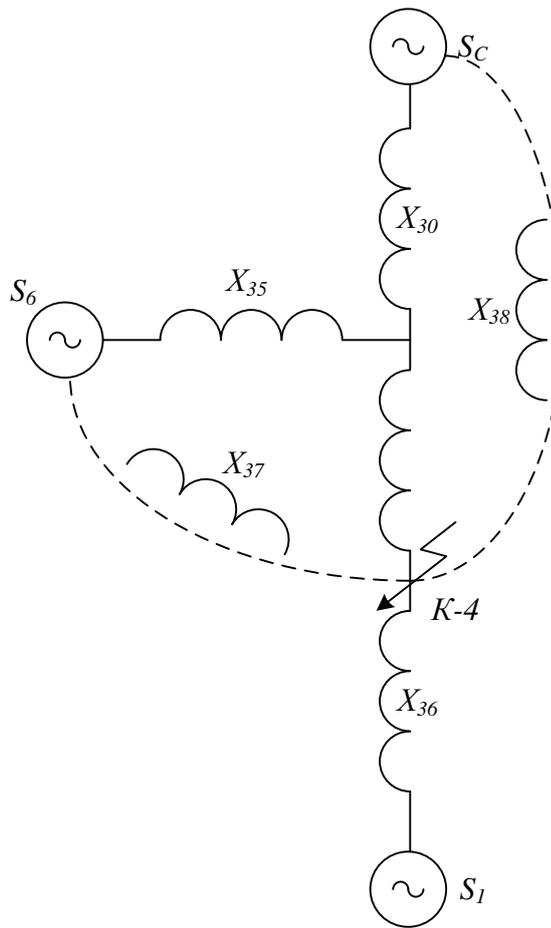


Рисунок 8.15

$$X_{36} = \frac{X_{31} \cdot X_5}{X_{31} + X_5} = \frac{6,54 \cdot 0,58}{6,54 + 0,58} = 0,53$$

$$X_{36} = X_7 + X_8 = 0,043 + 13,68 = 13,723$$

Сопровитления  $X_6$ ,  $X_{30}$  и  $X_{35}$  соединены в звезду, преобразуем их в треугольник.

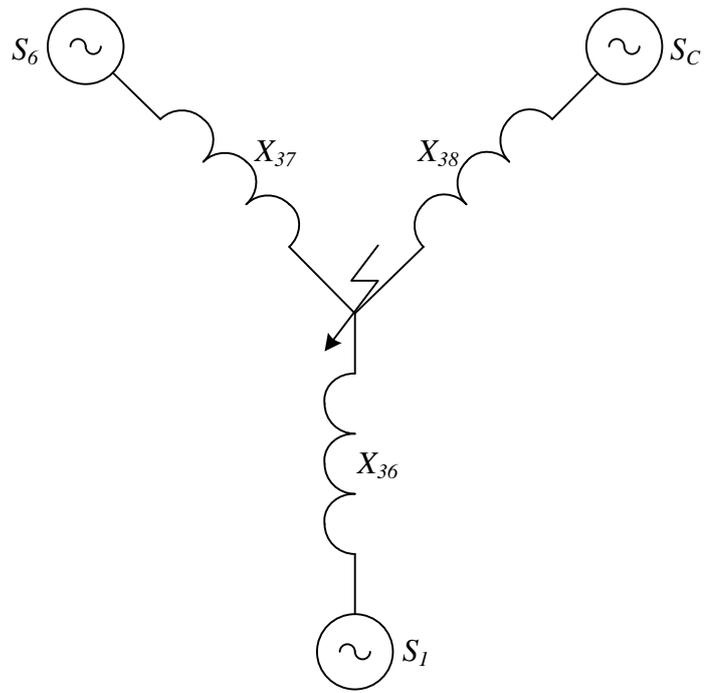


Рисунок 8.16

$$X_{37} = \frac{X_6 \cdot X_{35}}{X_0} + X_6 + X_{35} = \frac{0,73 \cdot 0,53}{2,53} + 0,173 + 0,53 = 4,59$$

$$X_{38} = \frac{X_6 \cdot X_{30}}{X_{35}} + X_6 + X_{30} = \frac{0,173 \cdot 2,53}{3,99} + 0,173 + 2,53 = 2,81$$

Определим возможность объединить  $S_1$  и  $S_6$

$$\frac{X_{36} \cdot S_1}{X_{37} \cdot S_6} = \frac{1,462 \cdot 13,723}{3,391 \cdot 4,59} = 1,2$$

Таким образом  $S_1$  и  $S_6$  можно объединить. В итоге получаем

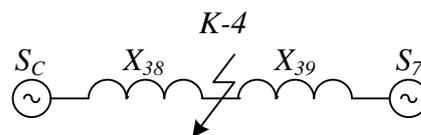


Рисунок 8.17

$$X_{39} = \frac{X_{37} \cdot X_{36}}{X_{37} + X_{36}} = \frac{4,59 \cdot 13,723}{4,59 + 13,723} = 3,44$$

$$S_7 = S_1 + S_6 = 1,462 + 3,391 = 4,853 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Ток к.з. от энергосистемы

$$I_{\infty 4c} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi_2} \cdot X_{38}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2,81} = 3,3 \text{ кА}$$

Ток к.з. в точке К-4 сетевых двигателей. Расчётное сопротивление ветви синхронных двигателей.

$$X_{РАСЧ} = X_{39} \cdot \frac{S_7}{S_6} + 0,07 = 3,44 \cdot \frac{4,863}{100} + 0,07 = 0,24$$

По[3] для  $t=\infty$  и  $X_{РАСЧ}=0,24$  определяем  $K_t = 3,45$

$$I_{\infty k_4 c s_7} = K_t \cdot \frac{S_7}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 3,45 \cdot \frac{4,853}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1,61 \text{ кА}$$

Суммарный ток установившегося к.з. в точке К-4

$$I_{\infty k_4} = I_{\infty k_4 c} + I_{\infty k_4 s_7} = 3,3 + 1,61 = 4,91 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з. в точке К-4

$$i_{y k_4} = 2,55 \cdot I_{\infty k_4} = 2,5 \cdot 4,91 = 12,52 \text{ кА}$$

Действующее значение тока к.з. в точке К-4

$$I_{YK4} = 1,52 \cdot I_{\infty K4} = 1,52 \cdot 4,91 = 7,46 \text{ кА}$$

Двухфазный ток к.з. в точке К-4

$$I_{K4}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\infty K4} = 0,87 \cdot 4,91 = 4,27 \text{ кА}$$

Мощность трёхфазного к.з. в точке К-4

$$S_{K4} = \sqrt{3} \cdot U_{62} \cdot I_{\infty K4} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 4,91 = 5,36 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

9.2.9 Определим параметры к.з. в точке К-5.

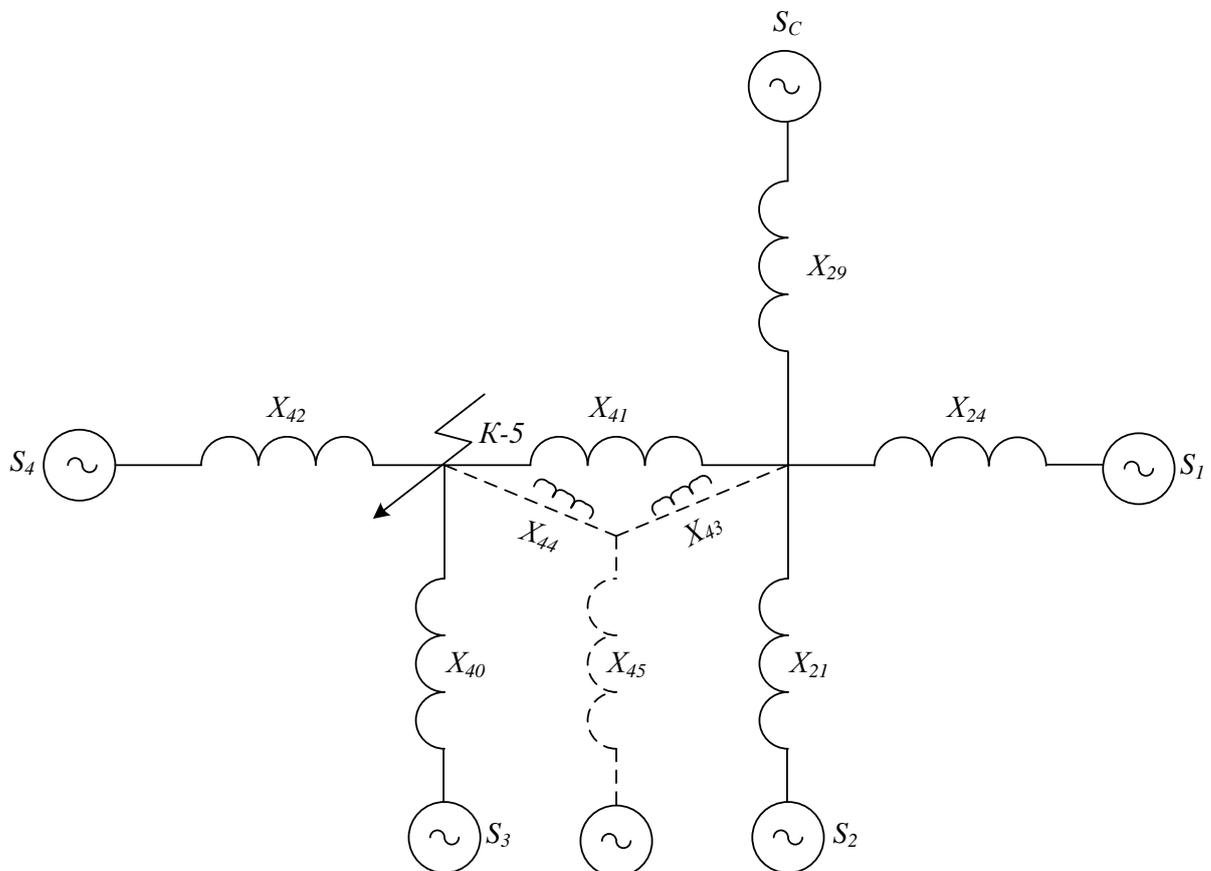


Рисунок 8.18

Произведём преобразование схемы замещения. Сопротивления  $X_{11}$ ,  $X_{14}$  и  $X_{23}$  соединены в «звезду», преобразуем их в «треугольник».

$$X_{40} = X_{16} + X_{18} = 0,032 + 34,6 = 34,632$$

$$X_{41} = \frac{X_{11} \cdot X_{14}}{X_{23}} + X_{11} + X_{14} = \frac{0,792 \cdot 0,361}{35,355} + 0,792 + 0,361 = 1,16$$

$$X_{42} = \frac{X_{11} \cdot X_{23}}{X_{14}} + X_{11} + X_{23} = \frac{0,792 \cdot 35,335}{0,361} + 0,792 + 35,335 = 113,65$$

Схема замещения примет вид

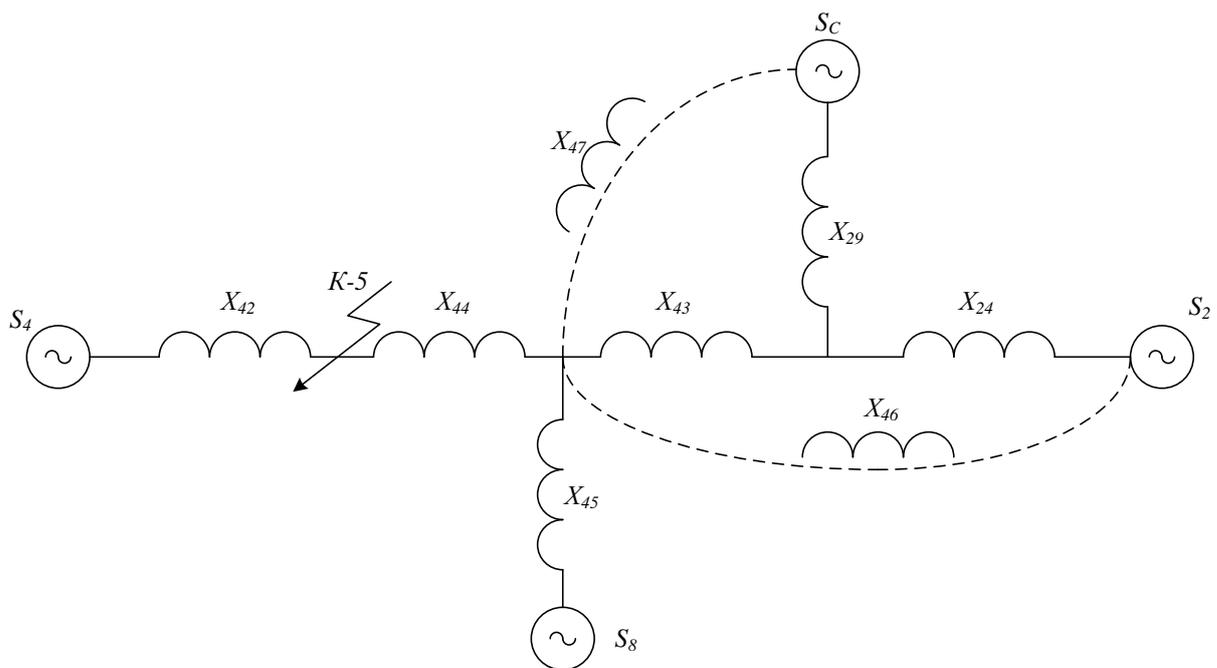


Рисунок 8.19

Определим возможность объединить  $S_3$  и  $S_4$

$$\frac{X_{42} \cdot S_4}{X_{40} \cdot S_3} = \frac{0,578 \cdot 113,65}{0,578 \cdot 34,632} = 3,3$$

Таким образом объединять  $S_3$  и  $S_4$  нельзя. Сопротивления  $X_{40}$ ,  $X_{41}$  и  $X_{21}$  соединены в «треугольник», преобразуем их в «звезду».

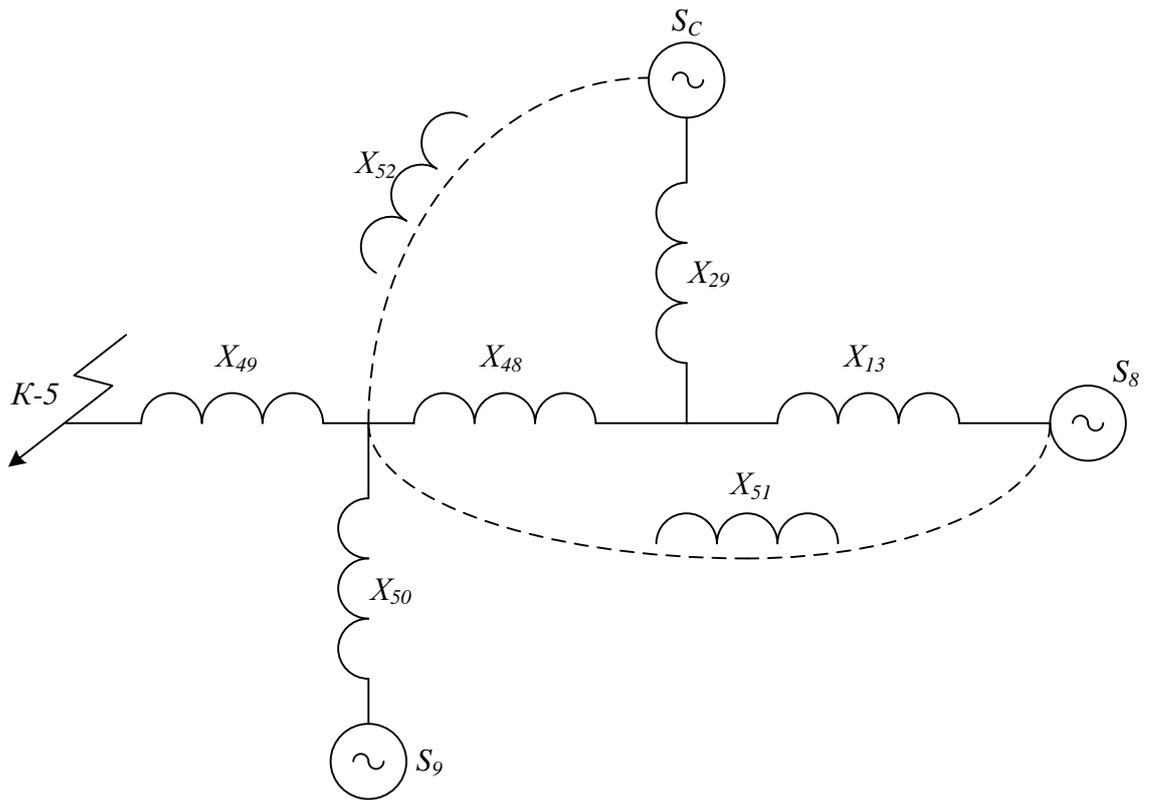


Рисунок 8.20

$$X_{43} = \frac{X_{41} \cdot X_{24}}{X_{41} + X_{21} + X_{40}} = \frac{1,16 \cdot 9,159}{1,16 + 9,159 + 34,632} = 0,24$$

$$X_{44} = \frac{X_{41} \cdot X_{40}}{X_{41} + X_{21} + X_{40}} = \frac{1,16 \cdot 34,632}{1,16 + 9,159 + 34,632} = 0,89$$

$$X_{45} = \frac{X_{40} \cdot X_{21}}{X_{41} + X_{21} + X_{40}} = \frac{34,632 \cdot 9,159}{1,16 + 9,159 + 34,632} = 7,06$$

$$S_8 = S_2 + S_3 = 2,235 + 0,578 = 2,813 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Сопротивления  $X_{44}$ ,  $X_{42}$  и  $X_{45}$  соединены в «треугольник». Преобразуем их в «звезду».

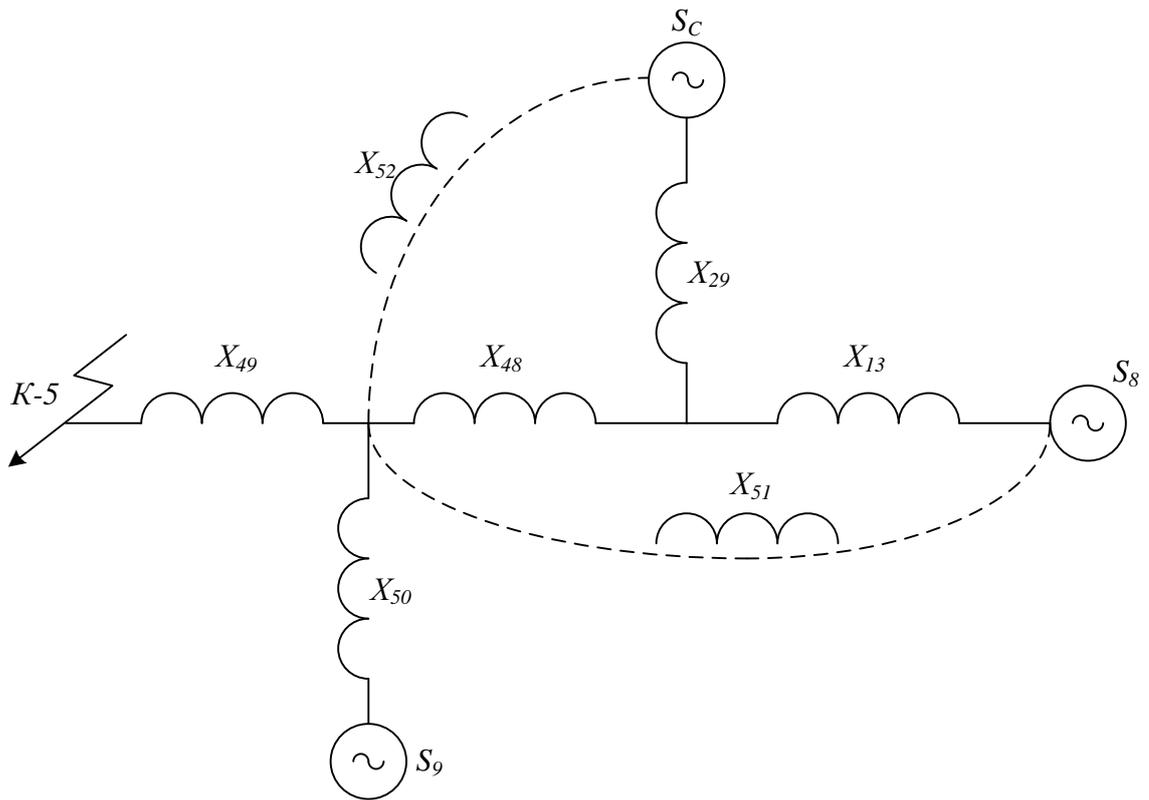


Рисунок 8.21

$$X_{48} = \frac{X_{44} \cdot X_{46}}{X_{44} + X_{46} + X_{42}} = \frac{0,89 \cdot 0,99}{0,89 + 0,99 + 113,65} = 0,01$$

$$X_{49} = \frac{X_{44} \cdot X_{42}}{X_{44} + X_{46} + X_{42}} = \frac{0,89 \cdot 113,65}{0,89 + 0,99 + 113,65} = 0,88$$

$$X_{50} = \frac{X_{46} \cdot X_{42}}{X_{44} + X_{46} + X_{42}} = \frac{34,632 \cdot 9,159}{0,89 + 0,99 + 113,65} = 0,98$$

$$S_9 = S_4 + S_1 = 0,578 + 1,462 = 2,04 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Сопровитления  $X_{45}$ ,  $X_{47}$  и  $X_{48}$  соединены в «звезду», преобразуем их в «треугольник».

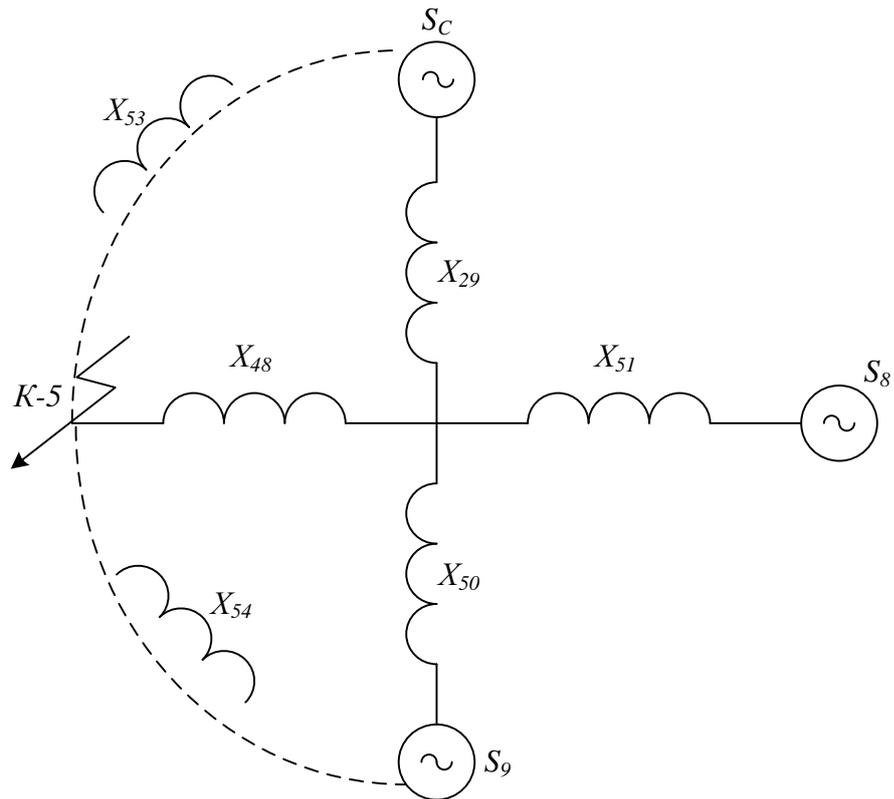


Рисунок 8.22

$$X_{51} = \frac{X_{45} \cdot X_{48}}{X_{47}} + X_{48} + X_{45} = \frac{7,06 \cdot 0,01}{3,44} + 0,01 = 7,22$$

$$X_{52} = \frac{X_{48} \cdot X_{47}}{X_{45}} + X_{48} + X_{47} = \frac{0,04 \cdot 3,44}{7,06} + 0,01 + 3,4 = 3,46$$

Определим возможность объединить  $S_9$  и  $S_8$

$$\frac{X_{51} \cdot S_8}{X_{50} \cdot S_9} = \frac{2,813 \cdot 7,22}{2,04 \cdot 0,98} = 10,2$$

Объединению  $S_9$  и  $S_8$  не подлежат.

Сопротивления  $X_{49}$ ,  $X_{50}$  и  $X_{52}$  соединены в «звезду», преобразуем их в «треугольник»

$$X_{53} = \frac{X_{52} \cdot X_{49}}{X_{50}} + X_{52} + X_{49} = \frac{3,46 \cdot 0,88}{0,98} + 3,46 + 0,88 = 7,45$$

$$X_{54} = \frac{X_{50} \cdot X_{49}}{X_{52}} + X_{50} + X_{49} = \frac{0,98 \cdot 0,88}{3,46} + 0,98 + 0,88 = 2,11$$

Схема замещения примет вид:

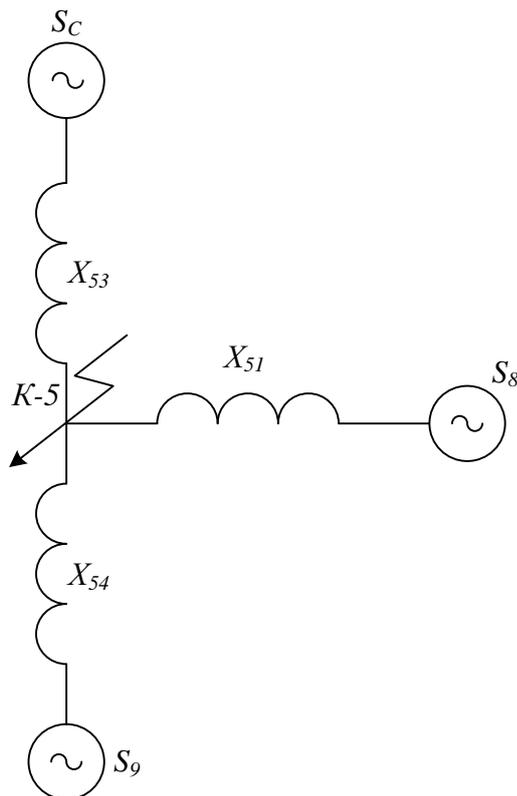


Рисунок 8.23

Определим возможность пренебречь  $S_8$  как источником питания точки к.з K-5 по отношению к питающей системе.

$$\frac{X_8}{X_C} = \frac{2,813}{100} = 0,02813 < 0,05$$

$$\frac{X_{51}}{X_{53}} = \frac{7,22}{7,45} \approx 1 < 20$$

пренебречь  $S_8$  нельзя. Определим возможность пренебречь  $S_9$  как источником питания точки к.з. К-5 по отношению к питающей системе.

$$\frac{S_9}{S_C} = \frac{2,04}{100} = 0,0204 < 0,05$$

$$\frac{X_{54}}{X_{53}} = \frac{2,11}{7,45} = 0,3 < 20$$

пренебречь  $S_9$  нельзя, следовательно суммарный ток в точке К-5 будет складываться из трёх установившихся значений токов к.з. от питающей системы, от источников  $S_9$  и  $S_8$ .

Установившееся значение тока к.з. от питающей системы

$$I_{\infty K_{5C}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot X_{53}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 7,45} = 1,23 \text{ кА}$$

Ток к.з.  $S_8$  расчетное сопротивление ветви синхронного двигателя  $S_8$

$$X_{РАСЧ_{S8}} = X_{51} \cdot \frac{S_8}{S_{\phi}} + 0,07 = 7,22 \cdot \frac{2,813}{100} + 0,07 = 0,27$$

Кратность тока к.з., посылаемого синхронными двигателями  $S_8$  для  $t=\infty$  и  $X_{РАСЧ}=0,27$ , определяем  $K_t = 3,15$  [3]

$$I_{\infty K_{5S8}} = K_t \cdot \frac{S_8}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 3,15 \cdot \frac{2,813}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,85 \text{ кА}$$

Определяем ток к.з. от  $S_9$ .

Расчетное сопротивление

$$X_{РАСЧ_{S9}} = X_{54} \cdot \frac{S_9}{S_{\phi}} + 0,07 = 2,11 \cdot \frac{2,04}{100} + 0,07 = 0,11$$

По[3] для  $t=\infty$  и  $X_{РАСЧ}=0,11$  определяем  $K_t=4,1$

$$I_{\infty K_5 S_9} = K_t \cdot \frac{S_9}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 4,1 \cdot \frac{2,04}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,81 \text{ кА}$$

Суммарный ток к.з. в точке К-5

$$I_{\infty K_5} = I_{\infty K_5 C} + I_{\infty K_5 S_9} = 1,23 + 0,85 + 0,81 = 2,89 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з. в точке К-5

$$i_{YK_5} = 2,55 \cdot I_{\infty K_5} = 2,55 \cdot 2,89 = 7,37 \text{ кА}$$

Действующее значение полного тока к.з в точке К-5

$$i_{YK_5} = 1,52 \cdot I_{\infty K_5} = 1,52 \cdot 2,89 = 4,39 \text{ кА}$$

Двухфазный ток к.з.

$$I_{K_5}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\infty K_5} = 0,87 \cdot 2,89 = 2,51 \text{ кА}$$

Мощность к.з. в точке К-5

$$S_{K_5} = \sqrt{3} \cdot U_{\delta 2} \cdot I_{\infty K_5} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2,89 = 31,5 \text{ МВ·А}$$

9.2.8 Определим параметры к.з. в точке К-6.

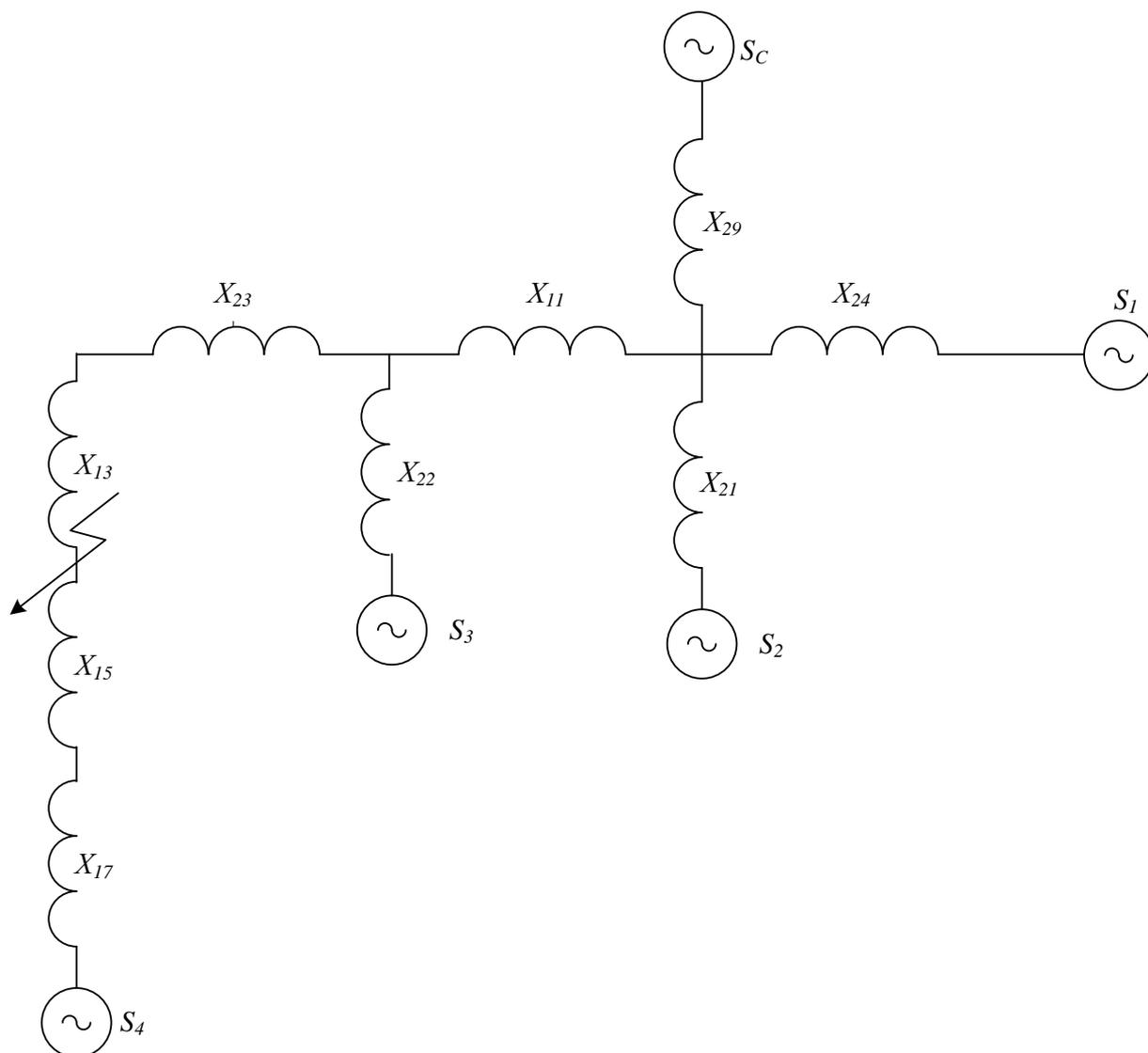


Рисунок 8.24

Преобразуем схему замещения

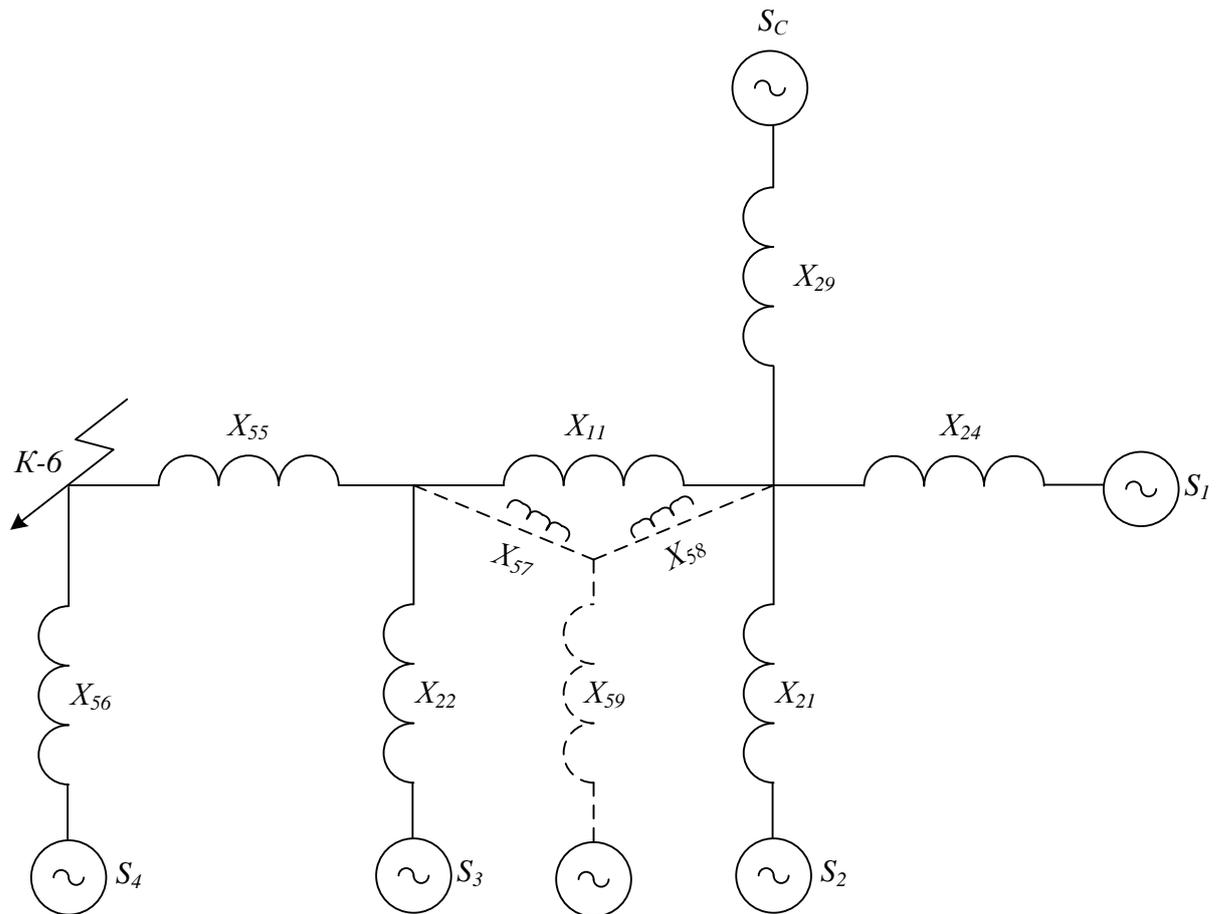


Рисунок 8.25

$$X_{55} = X_{12} + X_{13} = 0,288 + 0,432 = 0,72$$

$$X_{56} = X_{15} + X_{17} = 0,35 + 34,6 = 34,635$$

Сопротивления  $X_{21}$ ,  $X_{22}$  и  $X_{11}$  соединены в «треугольник», преобразуем их в «звезду».

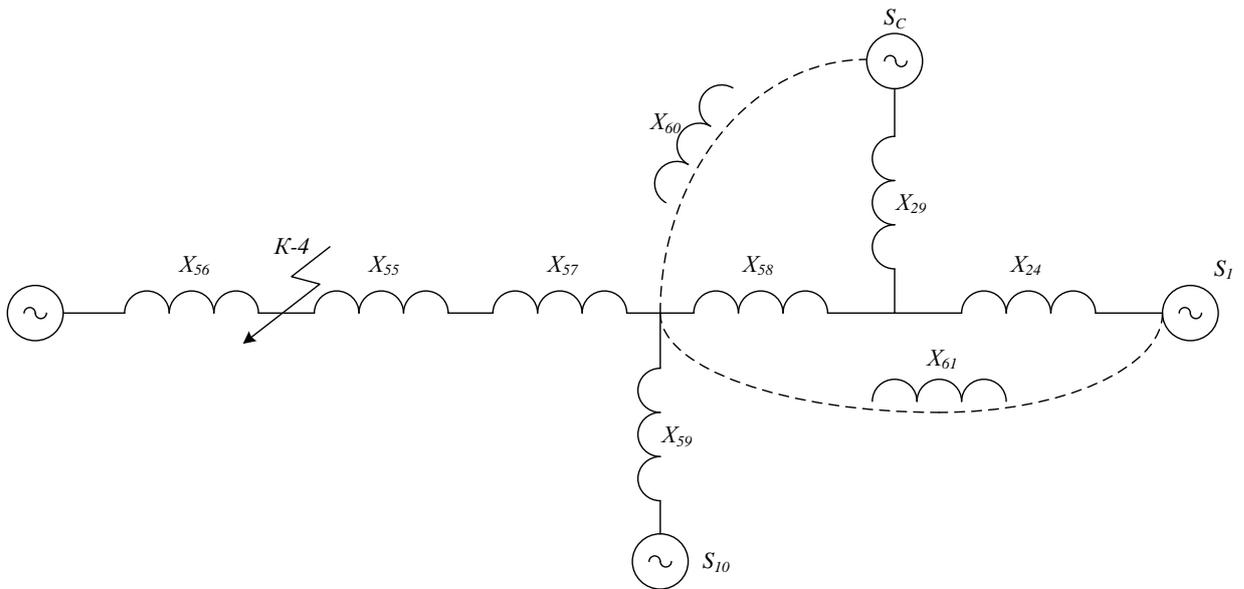


Рисунок 8.26

$$X_{57} = \frac{X_{11} \cdot X_{22}}{X_{11} + X_{22} + X_{21}} = \frac{0,792 \cdot 34,993}{0,792 + 34,993 + 9,159} = 0,62$$

$$X_{58} = \frac{X_{11} \cdot X_{21}}{X_{11} + X_{22} + X_{21}} = \frac{0,792 \cdot 9,159}{0,792 + 34,993 + 9,159} = 0,16$$

$$X_{59} = \frac{X_{121} \cdot X_{22}}{X_{11} + X_{22} + X_{21}} = \frac{9,159 \cdot 34,993}{0,792 + 34,993 + 9,159} = 7,13$$

$$S_{10} = S_2 + S_3 = 0,578 + 2,235 = 2,813 \text{ MB}\cdot\text{A}$$

$$X_{60} = \frac{X_{58} \cdot X_{29}}{X_{24}} + X_{58} + X_{29} = \frac{0,16 \cdot 2,36}{0,677} + 0,16 + 2,36 = 3,08$$

$$X_{61} = \frac{X_{58} \cdot X_{24}}{X_{29}} + X_{58} + X_{24} = \frac{0,16 \cdot 0,677}{2,36} + 0,16 + 0,677 = 0,88$$

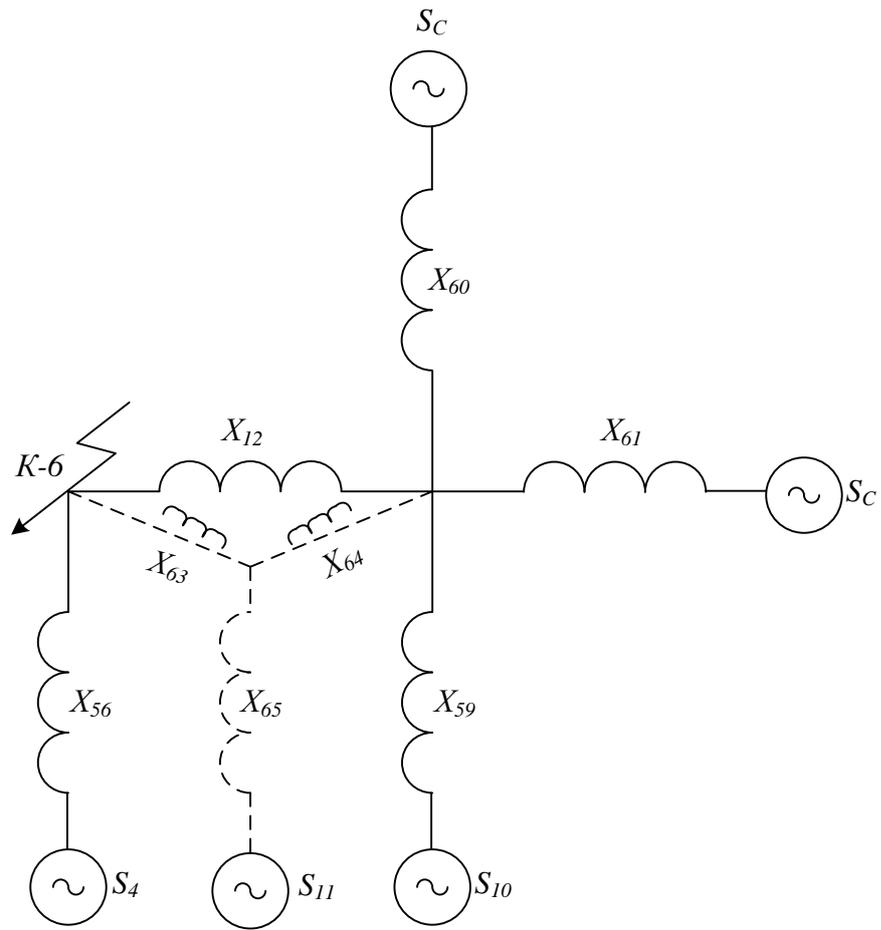


Рисунок 8.27

$$X_{62} = X_{55} + X_{57} = 0,72 + 0,62 = 1,34$$

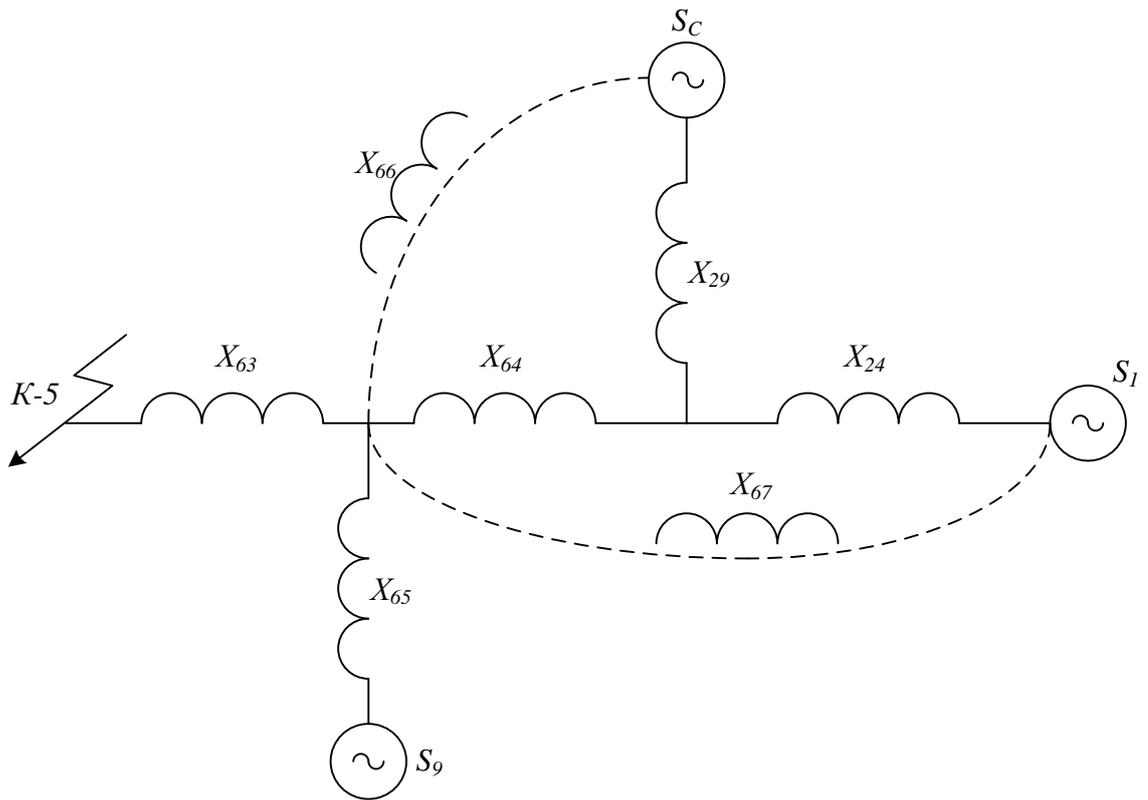


Рисунок 8.28

$$X_{63} = \frac{X_{62} \cdot X_{56}}{X_{62} + X_{56} + X_{59}} = \frac{1,34 \cdot 34,635}{1,34 + 34,635 + 7,13} = 1,08$$

$$X_{64} = \frac{X_{56} \cdot X_{59}}{X_{62} + X_{56} + X_{59}} = \frac{1,34 \cdot 34,635}{1,34 + 34,635 + 7,13} = 0,22$$

$$X_{65} = \frac{X_{56} \cdot X_{59}}{X_{62} + X_{56} + X_{59}} = \frac{34,635 \cdot 7,13}{1,34 + 34,635 + 7,13} = 5,73$$

$$S_{11} = S_4 + S_{10} = 0,578 + 2,813 = 3,391 \text{ MB}\cdot\text{A}$$

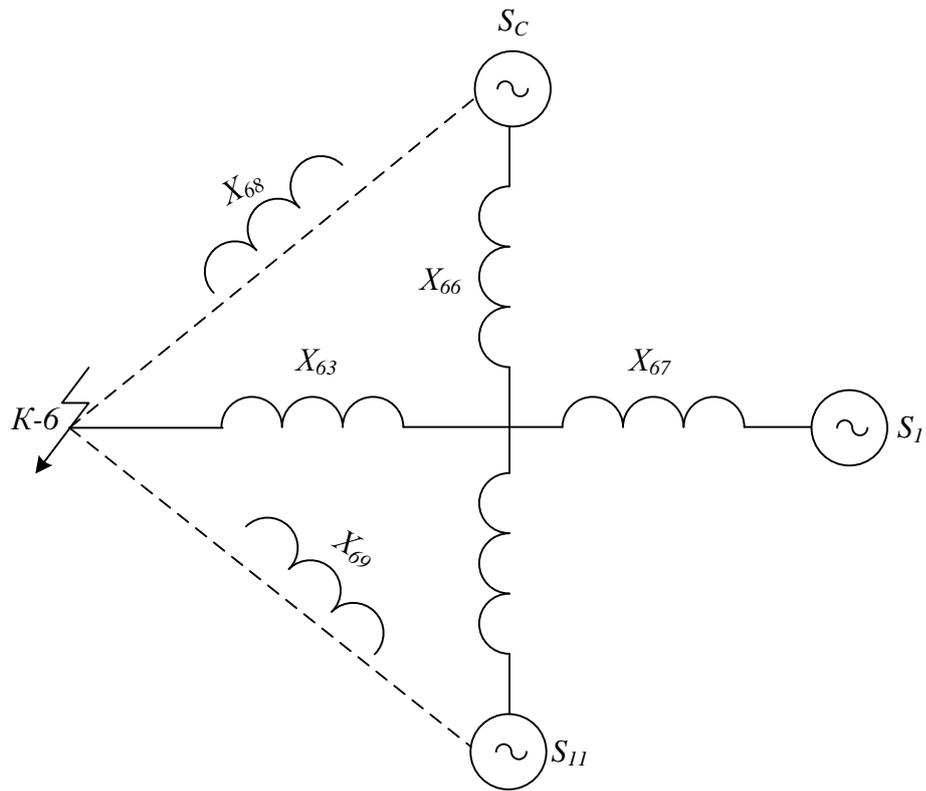


Рисунок 8.29

$$X_{66} = \frac{X_{64} \cdot X_{60}}{X_{61}} + X_{64} + X_{60} = \frac{0,22 \cdot 3,08}{0,88} + 0,22 + 3,08 = 4,07$$

$$X_{67} = \frac{X_{64} \cdot X_{61}}{X_{60}} + X_{64} + X_{61} = \frac{0,22 \cdot 0,88}{3,08} + 0,22 + 0,88 = 1,16$$

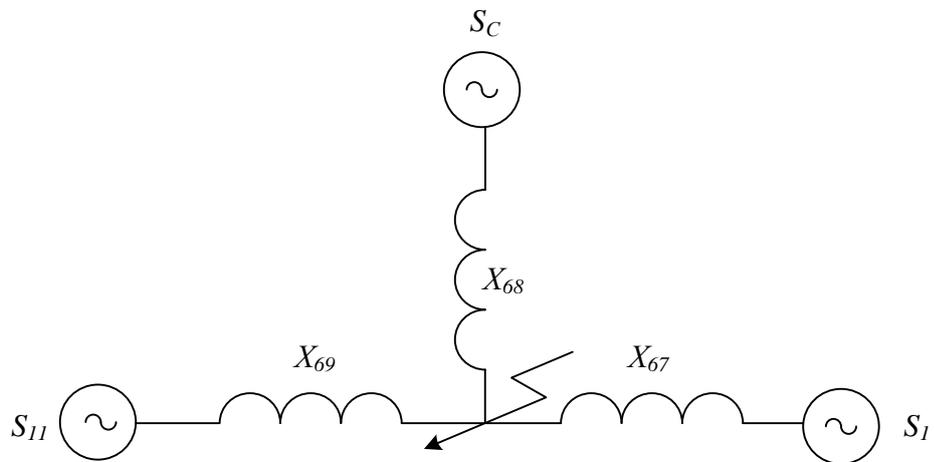


Рисунок 8.30

$$X_{68} = \frac{X_{63} \cdot X_{66}}{X_{65}} + X_{63} + X_{66} = \frac{1,08 \cdot 4,0}{5,73} + 1,08 + 4,07 = 5,92$$

$$X_{69} = \frac{X_{63} \cdot X_{65}}{X_{66}} + X_{63} + X_{65} = \frac{1,08 \cdot 5,73}{4,07} + 1,08 + 5,73 = 8,33$$

Определим возможность объединить  $S_1$  и  $S_{11}$

$$\frac{X_{67} \cdot S_1}{X_{69} \cdot S_{11}} = \frac{1,462 \cdot 1,16}{3,391 \cdot 8,33} = 0,06$$

Таким образом,  $S_1$  и  $S_{11}$  объединению не подлежат.

Определим возможность пренебречь  $S_1$  как источником питания точки к.з. К-6.

$$\frac{S_1}{S_C} = \frac{1,462}{100} = 0,01462 < 0,05$$

$$\frac{X_{67}}{X_{68}} = \frac{1,16}{5,92} = 0,2 < 20$$

Ток к.з. от энергосистемы

$$I_{\infty K_{6C}} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 2} \cdot X_{68}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 5,92} = 1,55 \text{ кА}$$

Расчетное сопротивление ветви от  $S_1$

$$X_{PACY S_1} = X_{67} \cdot \frac{S_1}{S_{\sigma}} + 0,07 = 1,16 \cdot \frac{1,462}{100} + 0,07 = 0,1$$

для  $t=\infty$  и  $X_{РАСЧ}=0,1$  по [3] определяем  $K_t=4,15$

$$I_{\infty K_6 S_1} = K_t \cdot \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 4,15 \cdot \frac{1,462}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,58 \text{ кА}$$

Расчетное сопротивление ветви от  $S_{11}$ .

$$X_{РАСЧ S_{11}} = X_{69} \cdot \frac{S_{11}}{S_6} + 0,07 = 8,33 \cdot \frac{3,391}{100} + 0,07 = 0,35$$

По [3] для  $t=\infty$  и  $X_{РАСЧ}=0,35$  определяем  $K_t=2,9$

$$I_{\infty K_6 S_{11}} = K_t \cdot \frac{S_{11}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 2,9 \cdot \frac{3,391}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,95 \text{ кА}$$

Суммарный ток к.з. в точке К-6

$$I_{\infty K_6} = I_{\infty K_6} + I_{\infty K_6 S_{11}} + I_{\infty K_6 S_1} = 1,55 + 0,58 + 0,95 = 3,08 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з. в точке К-6

$$i_{YK_6} = 2,55 \cdot I_{\infty K_6} = 2,55 \cdot 3,08 = 7,85 \text{ кА}$$

Действующее значение полного тока к.з в точке К-6

$$i_{YK_6} = 1,52 \cdot I_{\infty K_6} = 1,52 \cdot 3,08 = 4,68 \text{ кА}$$

Двухфазный ток к.з. в точке К-6

$$I_{K6}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\infty K6} = 0,87 \cdot 3,08 = 2,68 \text{ кА}$$

Мощность трехфазного к.з. в точке К-6

$$S_{K6} = \sqrt{3} \cdot U_{62} \cdot I_{\infty K6} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 3,08 = 33,6 \text{ МВ·А}$$

8.2.9 Данные расчетов сведем в таблицу

Расчетная точка к.з.	Параметры				
	$I_{\infty K}$ , кА	$i_{yK}$ , кА	$I_{yK}$ , кА	$I^{(2)}_K$ , кА	$S_K$ , МВ·А
К-1	3,83	9,79	5,84	3,34	246,1
К-2	5,51	14,1	8,38	4,79	60,1
К-3	3,84	9,79	5,84	3,14	41,9
К-4	4,91	12,52	7,46	4,27	53,6
К-5	2,89	7,37	4,39	2,51	31,5
К-6	3,08	7,85	4,56	2,68	33,6