

Расчет токов короткого замыкания в электрических сетях

Введение

короткое замыкание электрической схема

Коротким замыканием (далее КЗ) называется нарушение нормальной работы электрической установки, вызванное замыканием фаз между собой, а также замыканием фаз на землю в сетях с глухозаземленными нейтралью. При КЗ токи в поврежденных фазах увеличиваются в несколько раз по сравнению с предшествующим режимом работы электроустановки, а напряжения снижаются, особенно вблизи места повреждения.

Протекание больших токов вызывает повышенный нагрев проводников, а это ведет к увеличению потерь электроэнергии, ускоряет старение и разрушение изоляции, может к потере механической прочности токоведущих частей и электрических аппаратов.

Снижение уровня напряжения при КЗ в сети ведет к уменьшению вращающего момента электродвигателей, их торможению, снижению производительности и даже полному останову.

Резкое снижение напряжения при КЗ может привести к нарушению устойчивости параллельной работы генераторов электростанций и частей электрической системы, возникновению системных аварий. В результате возможно лавинообразное развитие системной аварии.

Элементы электрических систем обладают активными, индуктивными сопротивлениями и емкостными проводимостями. Поэтому при внезапном нарушении режима работы вследствие КЗ электрическая система представляет собой колебательный контур. Токи в ветвях и напряжение в узлах будут изменяться в течение некоторого времени после возникновения КЗ в соответствии с параметрами этого контура. За время КЗ с момента его возникновения до момента отключения поврежденного участка в цепи протекает переходный процесс с большими мгновенными токами, вызывающими электродинамическое воздействие на электрооборудование. При длительном, более 0,01 с, КЗ токи оказывают термическое действие, которое может привести к оплавлению и выгоранию контактов, повреждению самих токоведущих частей. Таким образом, режим КЗ является аварийным. Необходимо уметь рассчитывать эти режимы, в частности, определять величины токов КЗ в любой точке электрической системы в любой момент времени. Результаты расчета используются: при выборе и проверке проводников и электрических аппаратов по электродинамической и термической стойкости, а выключателей и предохранителей - еще и по отключающей способности; определении рациональных схем и режимов выдачи, передачи и распределении мощности в электрической системе; выборе необходимых средств

ограничения токов КЗ; для оценки условий работы и настройки релейной защиты и автоматики; для анализа аварий в электроустановках; для проектирования заземляющих устройств; оценки допустимости и разработки методики проведения различных испытаний в электрических системах; подбора характеристик разрядников для защиты от перенапряжений и т.д.

Объект работы - расчетная схема электроснабжения (см. рисунок 1).

Рисунок 1 - Общая расчетная схема электроснабжения

1. Расчетная часть

Определение параметров элементов схемы замещения в именованных единицах

Определим параметры элементов схемы замещения. За базовое напряжение примем напряжение точек КЗ К-1, К-2, т.е. $U_b = 10,5$ кВ.

Определим мощность трехфазного КЗ на шинах 230 кВ $S_k(3)$, МВА:

где U_n - среднее номинальное напряжение ступени, на которой рассчитывается мощность трёхфазного КЗ, В;

$I_k(3)$ - заданное значение тока трехфазного КЗ, А.

Определим индуктивное сопротивление энергосистемы x_c ном, Ом:

Определим индуктивное сопротивление энергосистемы, приведенное к базовому напряжению $x_c б = x_1$, Ом:

Определим индуктивное сопротивление обмотки высокого напряжения трансформатора, приведенное к базовому напряжению $x_T ВН = x_2$, Ом:

где $U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания между выводами обмоток высокого и низкого напряжения, выраженное в %;

S_T - номинальная мощность трансформатора, МВА.

Определим индуктивное сопротивление обмоток низкого напряжения трансформатора, приведенное к базовому напряжению :

Определим активное сопротивление обмоток низкого напряжения трансформатора, приведенное к базовому напряжению :

где $P_{кз}$ - потери короткого замыкания трансформатора, Вт;

$I_{н2}$ - номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора, А.

где $U_{н2}$ - номинальное напряжение обмотки низкого напряжения трансформатора, В.

Определим индуктивное сопротивление линии из кабеля СБ ЗЧ120 длиной в 7 км , приведенное к базовому напряжению:

где $x_{л1}$ - удельное индуктивное сопротивление кабеля на 1 км длины, Ом/км [1];

l_1 - длина линии, км;

$U_{ср1}$ - среднее напряжение в месте установки данного элемента цепи электроснабжения, кВ.

Определим активное сопротивление линии из кабеля СБ ЗЧ120, приведенное к базовому напряжению :

где $r_{л1}$ - удельное активное сопротивление кабеля длиной в 1 км, Ом/км [1].

Определим индуктивное сопротивление линии из кабеля ААБ ЗЧ185 длиной в 5 км, приведенное к базовому напряжению :

Определим активное сопротивление линии из кабеля ААБ ЗЧ185, приведенное к базовому напряжению :

Определим индуктивные сопротивления ветвей сдвоенного реактора, приведенные к базовому напряжению :

где - коэффициент связи обмоток реактора;

- номинальное индуктивное сопротивление реактора, Ом.

Определим активное сопротивление ветвей реактора :

где - номинальные потери на фазу в ветвях реактора, Вт [1];

- номинальный ток ветви реактора, А.

Определим индуктивное сопротивление линий из кабеля СБ 3Ч70 длиной 0,2 км, приведенные к базовому напряжению :

Определим активное сопротивление линий из кабеля СБ 3Ч70 :

Определим сверхпереходные индуктивные сопротивления по продольной оси синхронных электродвигателей, приведенные к базовому напряжению

:

где - сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси двигателя в относительных номинальных единицах;

- номинальная полная мощность синхронного электродвигателя, МВА.

где - коэффициент кратности пускового тока.

Определим активные сопротивления обмоток статоров электродвигателей [2, п. 2.9]:

Численные выражения активных и индуктивных сопротивлений элементов сети электроснабжения отразим на рисунке 2.

Рисунок 2 - Общая схема замещения системы электроснабжения (сопротивления элементов указаны в омах)

2. Расчет тока трехфазного КЗ в точке К-1 в именованных единицах

Составим расчетную схему для определения тока КЗ в точке К-1.

Рисунок 3 - Расчетная схема для определения тока КЗ в точке К-1

Определим схему замещения для расчета тока трехфазного короткого замыкания в точке К-1.

Рисунок 4 - Схема замещения для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-1

2.1 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от энергосистемы

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-1 от энергосистемы.

Рисунок 5 - Схема замещения и её преобразование для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-1 при подпитке тока от энергосистемы

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 1-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 1-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 1-й ветви относительно точки КЗ К-1 превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (, то необходимо учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ.

Определим полное сопротивление цепи для протекания тока трёхфазного КЗ в 1-й ветви :

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 1-й ветви для точки К-1 :

2.2 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от электродвигателя № 1
Составим схему замещения при питании точки КЗ К-1 от электродвигателя № 1.
Рисунок 6 - Схема замещения и её преобразование для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-1 при подпитке тока от электродвигателя №1

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 2-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 2-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 2-й ветви

относительно точки КЗ К-1 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (ζ), то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ во 2-й ветви для точки К-1 :

2.3 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от электродвигателя № 2

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-1 от электродвигателя № 2.

Рисунок 7 - Схема замещения и её преобразование для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-1 при подпитке тока от электродвигателя №2

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 3-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 3-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 3-й ветви

относительно точки КЗ К-1 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (ζ), то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 3-й ветви для точки К-1 :

Определим суммарное начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке К-1 :

3 Расчет тока трехфазного КЗ в точке К-2 в именованных единицах

Составим расчетную схему для определения тока КЗ в точке К-2.

Рисунок 8 - Расчетная схема для определения тока КЗ в точке К-2

Определим схему замещения для расчета тока трехфазного короткого замыкания в точке К-2.

Рисунок 9 - Схема замещения для расчетов тока трехфазного КЗ в точке К-2

3.1 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от энергосистемы

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-2 от энергосистемы.

Рисунок 10 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока трехфазного КЗ при подпитке точки К-2 от энергосистемы

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 1-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 1-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 1-й ветви

относительно точки КЗ К-2 превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (ζ), то необходимо учитывать активное

сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ.

Определим полное сопротивление цепи для протекания тока трёхфазного КЗ в 1-й ветви :

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 1-й ветви для точки К-2 :

3.2 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 3

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-2 от электродвигателя № 3.

Рисунок 11 - Схема замещения и её преобразование для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-2 при подпитки её от электродвигателя №3

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 2-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 2-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 2-й ветви

относительно точки КЗ К-2 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (, то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ во 2-й ветви для точки К-2 :

3.3 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 4

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-2 от электродвигателя № 4.

Рисунок 12 - Схема замещения и её преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 4

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 3-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 3-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 3-й ветви

относительно точки КЗ К-2 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (, то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 3-й ветви для точки К-2 :

Определим суммарное начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке К-2 :

4. Определение параметров элементов схемы замещения в относительных единицах

Определим параметры элементов общей схемы замещения системы

электроснабжения (см. рисунок 2) в относительных единицах. За базовую мощность примем значение 1000 МВА, т.е. .

Определим индуктивное сопротивление энергосистемы , приведенное к базовой мощности:

Определим индуктивное сопротивление обмотки высокого напряжения

трансформатора , приведенное к базовой мощности:

Определим индуктивные сопротивления обмоток низкого напряжения

трансформатора , приведенные к базовой мощности:

Определим активные сопротивления обмоток низкого напряжения трансформатора , приведенные к базовой мощности:

Определим индуктивное сопротивление линии из кабеля СБ ЗЧ120 длиной в 7 км , приведенное к базовой мощности:

Определим активное сопротивление линии из кабеля СБ ЗЧ120 длиной в 7 км , приведенное к базовой мощности:

Определим индуктивное сопротивление линии из кабеля ААБ ЗЧ185 длиной в 5 км , приведенное к базовой мощности:

Определим активное сопротивление линии из кабеля ААБ ЗЧ185 длиной в 5 км , приведенное к базовой мощности:

Определим индуктивные сопротивления ветвей сдвоенного реактора , , приведенные к базовой мощности:

Определим активные сопротивления ветвей реактора , приведенные к базовой мощности:

Определим индуктивные сопротивления линий из кабеля СБ ЗЧ70 длиной 0,2 км , приведенные к базовой мощности:

Определим активные сопротивления линий из кабеля СБ ЗЧ70 длиной 0,2 км , приведенные к базовой мощности:

Определим сверхпереходные индуктивные сопротивления по продольной оси синхронных электродвигателей , приведенные к базовой мощности:

Определим активные сопротивления обмоток статоров электродвигателей , приведенные к базовой мощности:

Расчитанные параметры элементов общей схемы замещения, выраженные в относительных единицах, наглядно показаны на рисунке 13.

Рисунок 13 - Общая схема замещения сети электроснабжения (сопротивления элементов выражены в относительных единицах)

5. Расчет тока трехфазного КЗ в точке К-1 в относительных единицах

Расчетная схема для определения тока В точке К-1 приведена на рисунке 3.

Определим схему замещения для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-1.

Рисунок 14 - Схема замещения сети для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-1

5.1 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от энергосистемы

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-1 от энергосистемы.

Рисунок 15 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от энергосистемы

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 1-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 1-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 1-й ветви относительно точки КЗ К-1 превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (, то необходимо учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ.

Определим полное сопротивление цепи при протекании тока трёхфазного КЗ в 1-й

ветви :

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 1-й ветви для точки К-1 :

где I_0 - базисный ток, А.

5.2 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от электродвигателя № 1

Составим схему замещения для расчета тока подпитки точки КЗ К-1 от электродвигателя № 1.

Рисунок 16 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от электродвигателя № 1

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 2-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 2-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 2-й ветви относительно точки КЗ К-1 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи ($X_{\Sigma} < 0,3 X_L$), то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ во 2-й ветви для точки К-1 :

5.3 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от электродвигателя № 2

Составим схему замещения для расчета тока подпитки точки КЗ К-1 от электродвигателя № 2.

Рисунок 17 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-1 от электродвигателя № 2

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 3-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 3-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 3-й ветви относительно точки КЗ К-1 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи ($X_{\Sigma} < 0,3 X_L$), то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 3-й ветви для точки К-1 :

Определим суммарное начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке К-1 :

6. Расчет тока трехфазного КЗ в точке К-2 в относительных единицах

Расчетная схема для определения тока КЗ в точке К-2 приведена на рисунке 8.

Определим схему замещения для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-2.

Рисунок 18 - Схема замещения сети для расчета тока трехфазного КЗ в точке К-2

6.1 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от энергосистемы

Составим схему замещения при питании точки КЗ К-2 от энергосистемы.

Рисунок 19 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от энергосистемы

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 1-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 1-й ветви :
Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 1-й ветви относительно точки КЗ К-2 превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (ζ), то необходимо учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ.

Определим полное сопротивление цепи при протекании тока трёхфазного КЗ в 1-й ветви :

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 1-й ветви для точки К-2 :

где I_A - базисный ток, А.

6.2 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 3
Составим схему замещения для расчета тока подпитки точки КЗ К-2 от электродвигателя № 3.

Рисунок 20 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 3

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 2-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 2-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 2-й ветви относительно точки КЗ К-2 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (ζ), то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ во 2-й ветви для точки К-2 :

6.3 Расчет тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 4
Составим схему замещения для расчета тока подпитки точки КЗ К-2 от электродвигателя № 4.

Рисунок 21 - Схема замещения и ее преобразование для расчета тока подпитки трехфазного КЗ в точке К-2 от электродвигателя № 4

Определим суммарное результирующее активное сопротивление 3-й ветви :

Определим суммарное результирующее индуктивное сопротивление 3-й ветви :

Т. к. результирующее эквивалентное активное сопротивление 3-й ветви относительно точки КЗ К-2 не превышает 30 % результирующего эквивалентного индуктивного сопротивления этой же цепи (ζ), то можно пренебречь и не учитывать активное сопротивление элементов КЗ цепи при расчете действующего значения периодической составляющей тока КЗ в этой ветви.

Определим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в 3-й ветви для точки К-2 :

Определим суммарное начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке К-2 :

7. Расчет значения ударного тока трехфазного КЗ в точке К-1

Схема замещения для определения ударного тока КЗ представлена на рисунке 4. Из

рисунка видно, что ударный ток КЗ в точке К-1 будет складываться из трех ударных токов от трех ветвей (энергосистемы и электродвигателей № 1,2).

Схемы замещения 1-й, 2-й и 3-й ветвей соответственно изображены на рисунках 5,6,7.

Для определения ударных коэффициентов ветвей необходимо учитывать все элементы исходной расчетной схемы как индуктивные, так и активные сопротивления. При этом синхронные электродвигатели должны быть учтены индуктивными сопротивлениями обратной последовательности, которые могут быть приближенно определены как [3].

Постоянную времени затухания апериодической составляющей тока КЗ и ударный коэффициент для каждой ветви рассчитывают в зависимости от соотношения результирующего индуктивного сопротивления цепи ветви к активному.

Если $\tau > T$, то ударный коэффициент может быть определен по общепринятой формуле: Если $\tau < T$, то ударный коэффициент рекомендуется определять по ниже следующей формуле:

Определим ударный ток в 1-й ветви (цепь соединяющая энергосистему с точкой КЗ К-1):

где i_{k1} - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в первоначальный момент времени в 1-й ветви, кА. (см. формулу 3).

Определим соотношение индуктивного сопротивления КЗ цепи 1-й ветви (значение подсчитано в формуле 2) к активному (значение подсчитано в формуле 1):

Т. к. $\tau > T$, то для определения ударного коэффициента используем уточненную формулу (16):

Определим ударный ток в 2-й ветви (цепь соединяющая электродвигатель № 1 с точкой КЗ К-1):

где i_{k2} - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в первоначальный момент времени в 2-й ветви, кА. (см. формулу 5).

Т. к. мощность СД отлична от стандартного ряда мощностей, определим ударный коэффициент расчётным путем.

Определим соотношение индуктивного сопротивления КЗ цепи 2-й ветви к активному (значение см. в формуле 4).

Индуктивное сопротивление КЗ цепи 2-й ветви с учетом индуктивного сопротивления обратной последовательности СД будет определяться по формуле:

Т. к. $\tau > T$, то для определения ударного коэффициента можно использовать общепринятую формулу (15):

Определим ударный ток в 3-й ветви (цепь соединяющая электродвигатель № 2 с точкой КЗ К-1):

где i_{k3} - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в первоначальный момент времени в 3-й ветви, кА. (см. формулу 6).

Определим соотношение индуктивного сопротивления КЗ цепи 3-й ветви к активному (значение указано в формуле 6). Индуктивное сопротивление КЗ цепи 3-й ветви с учетом индуктивного сопротивления обратной последовательности СД будет определяться по формуле:

Т. к. , то для определения ударного коэффициента используем общепринятую формулу (15):

Определим ударный ток в точке К-1 :

8. Расчет значения ударного тока трехфазного КЗ в точке К-2

Схема замещения для определения ударного тока КЗ представлена на рисунке 9. Из рисунка видно, что ударный ток КЗ в точке К-2 будет складываться из трех ударных токов от трех ветвей (энергосистемы и электродвигателей № 3,4).

Схемы замещения 1-й, 2-й и 3-й ветвей соответственно изображены на рисунках 10,11,12.

Определим ударный ток в 1-й ветви (цепь соединяющая энергосистему с точкой КЗ К-2) :

где - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в первоначальный момент времени в 1-й ветви, кА. (см. формулу 10).

Определим соотношение индуктивного сопротивления КЗ цепи 1-й ветви (значение подсчитано в формуле 9) к активному (значение подсчитано в формуле 8):

Т. к. , то для определения ударного коэффициента используем уточненную формулу (16):

Определим ударный ток в 2-й ветви (цепь соединяющая электродвигатель № 3 с точкой КЗ К-2) :

где - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в первоначальный момент времени в 2-й ветви, кА. (см. формулу 12).

Определим соотношение индуктивного сопротивления КЗ цепи 2-й ветви к активному (значение см. в формуле 11).

Индуктивное сопротивление КЗ цепи 2-й ветви с учетом индуктивного сопротивления обратной последовательности СД будет определяться по формуле:

Т. к. , то для определения ударного коэффициента используем общепринятую формулу (15):

Определим ударный ток в 3-й ветви (цепь соединяющая электродвигатель № 4 с точкой КЗ К-2) :

где - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в первоначальный момент времени в 3-й ветви, кА. (см. формулу 14).

Определим соотношение индуктивного сопротивления КЗ цепи 3-й ветви к активному (значение указано в формуле 13). Индуктивное сопротивление КЗ цепи 3-й ветви с учетом индуктивного сопротивления обратной последовательности СД будет определяться по формуле:

Т. к. , то для определения ударного коэффициента используем общепринятую формулу (15):

Определим ударный ток в точке К-2 :

Заключение

Любая электрическая сеть включает в себя электрооборудование. Для правильного подбора электрооборудования и для уменьшения материального ущерба в результате аварийных режимов в электрических сетях нужно уметь правильно определять значения прогнозируемых токов короткого замыкания.

Задача студента научиться определять значения прогнозируемых токов короткого замыкания для повышения надежности электроснабжения предприятий и городов, для выбора рациональных схем электроснабжения, для снижения материально ущерба и себестоимости устанавливаемого оборудования.

В ходе выполнения работы студент ознакомился с методами и правилами выполнения расчетов токов короткого замыкания, с методами преобразования и упрощения схем замещения устанавливаемого оборудования, с расчетом ударных токов короткого замыкания в электрических сетях.

Расчет токов короткого замыкания приведен как в именованных, так и в относительных единицах. В каждом конкретном случае приводятся примеры с иллюстрациями преобразования схем замещения. Результаты расчетов и в именованных, и в относительных единицах совпадают, что позволяет судить о правильности и достоверности сделанных расчетов.

Таким образом, цель работы достигнута, задачи - решены.

Выполненная работа имеет практическую ценность для студентов курса переходные процессы в электроэнергетических системах, как наглядный пример или образец для решения задач по расчету токов коротких замыканий в электрических сетях напряжением выше 1000 В, а также специалистов занимающихся изучением и исследованием переходных процессов в электроэнергетических системах.

Библиографический список

- 1 Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. - СПб.: БХВ-Петербург, 2014. - 608 с.
- 2 ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. - Введ. 2007-07-12. - М.: Стандартинформ, 2007.
- 3 Коровин, Ю.В. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: учебное пособие / Ю.В. Коровин, Е.И. Пахомов, К.Е. Горшков. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. - 114 с.
- 4 Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Е.А. Конюхова. - 10-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 320 с.
- 5 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. - 11-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2014. - 448 с.
- 6 Переходные процессы в системах электроснабжения: методические указания по выполнению курсовой работы / сост.: С.Н. Разыграев, Д.П. Химичева; под ред. А.В. Прохорова. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. - 40 с.