

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

 «Тольяттинский государственный университет»

**Энергетики и электротехники**

 (институт)

Электроэнергетика и электротехника

(кафедра)

**КУРСОВАЯ РАБОТА (КУРСОВОЙ ПРОЕКТ)**

по учебному курсу « Электромагнитные переходные процессы

в системах электроснабжения »

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент | (И.О. Фамилия) |  |
| Группа | ЭЭТбд-1501а |  |
| Преподаватель  | Владимир Николаевич Кузнецов(И.О. Фамилия) |  |
|  |  |  |

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

[Введение 3](#_Toc512809319)

[задание на курсовую работу 4](#_Toc512809320)

[1. Расчет сверхпереходных и ударных токов трехфазного КЗ на сборных шинах ВН и НН подстанции 6](#_Toc512809322)

[1.1 Составление схемы замещения и расчет ее параметров 6](#_Toc512809323)

[1.2 Расчет тока трехфазного короткого замыкания на ступени ВН 10](#_Toc512809324)

[1.3 Расчет ударного тока короткого замыкания 12](#_Toc512809325)

[1.4 Расчет тока трехфазного КЗ на ступени НН 16](#_Toc512809326)

[2. Расчет тока трехфазного КЗ на ступени 0,4 кВ 17](#_Toc512809327)

[3. Расчет несимметричного короткого замыкания 20](#_Toc512809328)

[3.1 Построение схем различных последовательностей 20](#_Toc512809329)

[3.2 Правило эквивалентности прямой последовательности 22](#_Toc512809330)

[3.3 Расчет практическим методом установившегося режима однофазного короткого замыкания 23](#_Toc512809331)

[3.4 Расчет коэффициентов тяжести аварий 25](#_Toc512809332)

[Заключение 27](#_Toc512809333)

[Список литературы 28](#_Toc512809334)

# Введение

Короткие замыкания являются одним из видов аварийных режимов, возникающих в системах электроснабжения. Их возникновение способно приводить к резким возрастаниям токов в токоведущих частях, снижению напряжения и разрывам в схемах СЭС вследствие перегрева проводников.

При этом зачастую могут наблюдаться проявления таких явлений, как перегрев токоведущих частей, механические повреждения, возникновение помех в линиях связи, перерывы в электроснабжении потребителей, нарушения технологических режимов работы предприятий и как следствие – выпуск бракованной продукции.

 «Причинами КЗ могут являться - старение изоляции, её повреждения, ошибки оперативного персонала, а также перенапряжения в схемах. Снижение числа коротких замыканий, их тяжести и продолжительности – важнейшая задача в обеспечении надежности электроснабжения потребителей» [1].

При проектировании схем электроснабжения необходимо производить расчет токов короткого замыкания в характерных точках схемы. После определения токов КЗ и их характеристик переходят к проектированию схем защит и релейной автоматики.

В данной курсовой работе будет проведен расчет сверхпереходных и ударных токов КЗ трехфазных на шинах ВН и НН, а также на стороне 0,4 кВ. Кроме того, будут рассмотрены несимметричные короткие замыкания на стороне ВН и рассчитаны коэффициенты тяжести аварий для соответствующих видов НКЗ.

# задание на курсовую работу

1.Рассчитать сверхпереходные и ударные токи трехфазного КЗ на сборных шинах ВН и НН подстанции, построить график *IП=f(t)* для КЗ на шинах ВН. Вид схемы выбирается по варианту D. Ударные коэффициенты взять приближённо из таблицы 7«Усредненные значения ударного коэффициента при коротком замыкании в различных точках электрической системы» текста для учебника.

2.Рассчитать ток трёхфазного короткого замыкания на стороне 0.4 кВ для выбора оборудования. Обмотки НН (10 кВ) трансформаторов Т2 считать источником постоянного напряжения. Достаточно рассмотреть одну из параллельных ветвей.

3.Рассчитать сверхпереходные токи несимметричных КЗ на стороне ВН. Группы соединений трансформаторов взять из методических указаний. Рассчитать ударные токи и коэффициенты тяжести аварии.

*Примечания:*

1. *Доаварийным режимом короткого замыкания считать холостой ход;*
2. *Синхронные двигатели можно не учитывать.*
3. *Результаты расчетов свести в сводные таблицы в конце каждого пункта курсовой.*

*Расчётные параметры схемы*

**Таблица А.**  **Основные параметры ЛЭП**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Генераторы передающей станции
* количество и мощность, МВт
* cos ϕ
 | 3х1000,810 |
| 1. Трансформаторы передающей станции
* количество и мощность, МВА
* Uк%
 | 3х807,0 |
| 1. Линия ВН
* Uн, кВ
* наличие грозозащитного троса в Л1 (в Л2 и Л3 – трос есть всегда)
* х0, Ом./км

- длина линии, *l*, км. | 220есть0,35100 |
| 1. Автотрансфораторы
* количество и мощность, МВА
* uк%
 | 2х2006,0 |

**Таблица В.**  **Параметры генераторов передающей станции**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Тип генератора и наличие АРВ | ГГ/нет |
| 2. Сопротивления, о. е.* хd
* xd’

- хd”- xq | 1,200,80,2000,50 |
| 3. Постоянная инерции Тj, c | 12 |

**Таблица C**

|  |  |
| --- | --- |
| Мощность к. з. на зажимах приемной системы, МВА | 8000 |
| Момент времени для расчетной кривой t2 | 0,1 |
| Соотношение длин линий *Л1*Соотношение длин линий *Л2*Соотношение длин линий *Л3* | *l*1=(1/2)\**l**l*2=(1/3)\**l**l*3=(1/4)\**l* |
| Точка КЗ в схеме на стороне ВН | К3 |
| Вид обрыва на стороне ВН | L(1) |
| Cosφприем (для ЭлМехПП) | 0,80 |

**Таблица D.** **Параметры промежуточного подключения**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Количество и мощность трансформаторов Т2, МВА
 | 2х60 |
| 2. Напряжения, %* Uвн
* Uвс
* Uсн
 | 11,05,04,5 |
| 3. Нагрузка на шинах 35 кВ, МВА | 21 |
| 1. Протяженность линии 35 кВ, км
* Воздушные (всего)
* Кабельные (всего)
 | 754 |
| 1. Нагрузка на шинах 10 кВ, МВА

а) всегоб) в том числе СД* Количество и мощность, МВА
* хd”
 | 4х20,23 |
| В) Трансформаторы Т3 10/0,4* мощность, МВА
* Uк%
* ΔРк.з., кВт (каждого)

г) кабели 10 кВ* длина, м (каждый)
* х0, Ом/км
* r0, Ом/км

д) кабели 0,4 кВ* длина, м (каждый)
* х0, Ом/км
* r0, Ом/км
 | 2х25,5502500,083,60350,082,05 |
| 1. Нагрузка на 0,4 кВ

АД мелкие - РΣ, кВт* cos ϕ

Обобщенная нагрузка - SΣ, кВA | 12000,852000 |

***Расчетная схема***



# 1. Расчет сверхпереходных и ударных токов трехфазного КЗ на сборных шинах ВН и НН подстанции

## 1.1 Составление схемы замещения и расчет ее параметров

Для составления схемы замещения на основе заданной схемы СЭС заменим все элементы схемы своими сверхпереходными параметрами. используем стандартные типовые формулы для соответствующих элементов цепи. Для расчета базисную мощность Sб примем равной 1000 МВА.

хг = 

хт1=

хЛ1 = 

хЛ2 = 

хЛ3 = 

хТ2 =

хС =

UВ=

UC=

UН=

хТВ = 

хТС =

хТН = 

хСД =

На рис. 1 приведена эквивалентная схема замещения исходной СЭС с расчетными параметрами.



Рис. 1. Эквивалентная схема замещения

Эквивалентную схему замещения, полученную в результате проведенных преобразований необходимо привести к более удобному виду. Для этого преобразуем в схеме все параллельные ветви в эквивалентные и найдем параметры новых ветвей.

$$Х\_{1}=\frac{Х\_{г}}{3}=\frac{1.62}{3}=0.54$$

$$Х\_{2}=\frac{Х\_{Т1}}{3}=\frac{0.875}{3}=0.292$$

$$Х\_{3}=\frac{Х\_{Л1}}{2}=\frac{0.3616}{2}=0.181$$

$$Х\_{4}=\frac{Х\_{Л2}}{2}=\frac{0.241}{2}=0.121$$

$$Х\_{5}=\frac{Х\_{Л3}}{2}=\frac{0.1808}{2}=0.09$$

$$Х\_{6}=\frac{Х\_{Т2}}{2}=\frac{0.3}{2}=0.15$$

$$Х\_{7}=\frac{Х\_{ТВ}}{2}=\frac{0.958}{2}=0.479$$

$$Х\_{8}=\frac{Х\_{ТС}}{2}=\frac{0.125}{2}=0.063$$

$$Х\_{9}=\frac{Х\_{ТН}}{2}=\frac{0.875}{2}=0.438$$

$$Х\_{10}=\frac{Х\_{СД}}{3}=\frac{115}{4}=38.333$$

Полученная в результате проведенных преобразований схема приведена на рис. 2.



Рис. 2. Расчетная схема замещения

Теперь, необходимо выполнить преобразование последовательно соединенных элементов на схеме в эквивалентные им сопротивления.

$$X\_{11}=X\_{1}+X\_{2}+X\_{3}=0.54+0.292+0.181=1.012$$

$$X\_{12}=X\_{4}=0.121$$

$$X\_{13}=X\_{6}+X\_{C}=0.15+0.125=0.275$$

$$X\_{14}=X\_{5}+X\_{7}+X\_{9}+X\_{10}=0.09+0.479+0.438+38.333=39.34$$

В результате проведенных преобразований получим схему, представленную на рис. 3.



Рис. 3. Полученная схема замещения

Как видим, на последней схеме (рис. 3) имеется пассивная звезда, которую на следующем этапе необходимо преобразовать в треугольник сопротивлений, не учитывая сопротивление между генератором и двигателем.

$$X\_{15}=X\_{11}+X\_{12}+\frac{X\_{11}∙X\_{12}}{X\_{14}}=1.012+0.121+\frac{1.012∙0.121}{39.34}=1.136$$

$$X\_{16}=X\_{13}=0.275$$

$$X\_{17}=X\_{14}+X\_{12}+\frac{X\_{14}∙X\_{12}}{X\_{11}}=39.34+0.121+\frac{39.34∙0.121}{1.012}=44.144$$

Приведем итоговую получившуюся схему замещения, которая представлена на рис. 4.



Рис. 4. Преобразованная схема замещения в виде трехлучевой звезды

Таким образом, в результате преобразований была получена схема замещения исходной СЭС в виде трелучевой звезды.

## 1.2 Расчет тока трехфазного короткого замыкания на ступени ВН

Для расчета сверхпереходного тока от питающих элементов СЭС будем использовать закон Ома:

$$I\_{G}^{''}=\frac{E\_{G}^{''}}{Х\_{16}}=\frac{1}{1.052}=0.951$$

$$I\_{C}^{''}=\frac{E\_{C}^{''}}{Х\_{17}}=\frac{1}{0.307}=3.258$$

$$I\_{CD}^{''}=\frac{E\_{CD}^{''}}{Х\_{18}}=\frac{1.1}{84.293}=0.013$$

Значения для источников питания Е’’G, Е’’C и Е’’СD взяты из Приложения 1: Е’’G = 1,0 (Х.Х.); Е’’C = 1,0; Е’’СD = 1,1.

Перейдем к определению полного тока в точке КЗ:

$$I\_{K}^{''}=I\_{G}^{''}+I\_{C}^{''}+I\_{CD}^{''}=0.951+3.258+0.013=4.222$$

Тогда, базисный и полный ток в точке КЗ в именованых единицах будет равен:

Iб=; I’’К, кА= I’’К Iб= 4.222 $∙$ 2.624

Для определения периодической слагающей тока КЗ во времени:

1. Ток от системы остается постоянным *IС=const=3.258*, так как он не имеет зависимости от момента времени переходного процесса:
2. Подпитка КЗ со стороны синхронных двигателей мала (меньше 5 процентов суммы токов других ветвей), следовательно ею будем пренебрегать.
3. Ток от генераторов передающей станции, который находят по расчетным кривым.

При нахождении зависимости тока КЗ от генераторов передающей станции от времени будем использовать метод расчетных кривых [1-3]. Суть этого метода заключается в определении по графикам расчётных кривых (построенных для конкретного типа генератора) периодической составляющей тока КЗ в определенные моменты времени при конкретных значений ХРАСЧ, определяемое по формуле:

XРАСЧ=

По расчетным кривым [1,2] для гидрогенератора с автоматическим регулирование возбуждения (АРВ) необходимо определить токи с пересчетом на “старый базис”.

t=0 Iг0’’=2,78\*( 3\*РH/(Sб\*cosφн))=2,78\*3\*100/(0,81\*1000)=1.03

t=0,1 Iг0,1’’=2,6\*(3\*РH/(Sб\*cosφн))=2,6\*3\*100/(0,81\*1000)=0.963

t=0,2 Iг0,2’’=2,5\*(3\*РH/(Sб\*cosφн))=2,5\*3\*100/(0,81\*1000)=0.926

t=$\infty $ Iг∞’’=2,7\*( 3\*РH/(Sб\*cosφн))=2,7\*3\*100/(0,81\*1000)=1

Определим полный ток в точке КЗ:

IK0’’= Iг0’’+IC’’=1.03+3.258=4.288;

IK0,1’’= Iг0,1’’+IC’’=4.221;

IK0,2’’= Iг0,2’’+IC’’=4.184;

IK∞’’= Iг∞’’+IC’’=4.258.

Теперь можем определить полный ток в именованных единицах:

IK0’’=4.288\*2.624=11.253 кА;

IK0,1’’=4.221\*2.624=11.078 кА;

IK0,2’’=4.184\*2.624=10.981 кА;

IK∞’’=4.258\*2.624=11.175 кА.

Проведя расчет токов, построим график *IП=f(t)* для КЗ на шинах ВН, используя полученные значения (рис. 5).

Рис. 5. Зависимость тока КЗ от передающей станции от времени

## 1.3 Расчет ударного тока короткого замыкания

С целью введения в схему СЭС необходимых активных сопротивле ний найдем из таблиц [1-2] средние отношения (Х/R)СР из которых, в свою очередь находим R.

$$R\_{1}=\frac{Х\_{г}}{3∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{2.025}{3∙60}=0.011$$

$$R\_{2}=\frac{Х\_{Т1}}{3∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.875}{3∙20}=0.015$$

$$R\_{3}=\frac{Х\_{Л1}}{2∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.3616}{2∙4}=0.045$$

$$R\_{4}=\frac{Х\_{Л2}}{\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.241}{4}=0.06$$

$$R\_{5}=\frac{Х\_{Л3}}{2∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.1808}{2∙4}=0.023$$

$$R\_{6}=\frac{Х\_{Т2}}{2∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.3}{2∙27}=0.006$$

$$R\_{7}=\frac{Х\_{С}}{\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.125}{50}=0.003$$

$$R\_{8}=\frac{Х\_{ТВ}}{2∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.875}{2∙17}=0.026$$

$$R\_{9}=\frac{Х\_{ТС}}{2∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.125}{2∙17}=0.004$$

$$R\_{10}=\frac{Х\_{ТН}}{2∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{0.958}{2∙17}=0.028$$

$$R\_{11}=\frac{Х\_{СД}}{3∙\left(\frac{Х}{R}\right)\_{СР}}=\frac{250}{3∙15}=4.167$$

В результате преобразований получим эквивалентную активную схему замещения СЭС для нахождения ударного тока КЗ на рис. 6.



Рис. 6. Активная схема замещения СЭС для нахождения ударного тока КЗ

Далее, необходимо будет преобразовать полученную в результате преобразований схему (рис.6) аналогично эквивалентной схеме замещения, состоящей из реактивных сопротивлений.

$$R\_{12}=\frac{R\_{3}∙R\_{4}}{R\_{3}+R\_{4}+R\_{5}}=\frac{0.045∙0.06}{0.045+0.06+0.023}=0.021$$

$$R\_{13}=\frac{R\_{3}∙R\_{5}}{R\_{3}+R\_{4}+R\_{5}}=\frac{0.045∙0.023}{0.045+0.06+0.023}=0.008$$

$$R\_{14}=\frac{R\_{4}∙R\_{5}}{R\_{3}+R\_{4}+R\_{5}}=\frac{0.06∙0.023}{0.045+0.06+0.023}=0.011$$

$$R\_{15}=R\_{1}+R\_{2}+R\_{12}=0.011+0.015+0.021=0.047$$

$$R\_{16}=R\_{6}+R\_{7}+R\_{13}=0.006+0.003+0.008=0.016$$

$$R\_{17}=R\_{8}+R\_{10}+R\_{11}+R\_{14}=0.026+0.028+4.167+0.011=4.231$$

Итоговая схема замещения для нахождения ударного тока представлена на рис. 7.



Рис. 7. Схема замещения СЭС для нахождения ударного тока

По графику КУ [1-2] для соотношений Х/R определяем ударный коэффициент для питающих элементов системы:

Для генератора: $\frac{Х\_{16}}{R\_{15}}=\frac{1.052}{0.047}=22.383$ $K\_{yG}=1.87$

Для системы: $\frac{Х\_{17}}{R\_{16}}=\frac{0.307}{0.016}=19.188$ $K\_{yC}=1.84$

Для синхронного двигателя: $\frac{Х\_{18}}{R\_{17}}=\frac{84.293}{4.231}=19.923$ $K\_{yCD}=1.86$

Используя рассчитанные ударные коэффициенты, значения токов от питающих элементов системы можем определить ударный ток от этих элементов:

iyG=$K\_{yG}∙\sqrt{2}∙I\_{G}^{''}=1.87∙\sqrt{2}∙0.951=2.514$

iyC=$K\_{yC}∙\sqrt{2}∙I\_{C}^{''}=1.84∙\sqrt{2}∙3.258=8.479$

iyCD=$K\_{yCD}∙\sqrt{2}∙I\_{CD}^{''}=1.86∙\sqrt{2}∙0.013=0.034$

Таким образом, полный ударный ток в точке КЗ определяется по формуле:

iy= iyG+ iyC+ iyCD=2.514+8.479+0.034=11.028

Теперь можем определить ударный ток в именованных единицах:

*i*y. кА=*iY*\*2.624=28.94 кА.

## 1.4 Расчет тока трехфазного КЗ на ступени НН

Для получения расчетной схемы при определении тока трехфазного КЗ на ступени НН (10 кВ) следует применить эквивалентную схему замещения, параметры которой были найдены на стороне ВН. Переопределенные сопротивления обозначим двумя штрихами, чтобы отличать их от найденных ранее.

$$X^{''}\_{1}=X\_{1}+X\_{2}+X\_{13}=0.675+0.292+0.085=1.052$$

$$X^{''}\_{2}=X\_{14}+X\_{5}+X\_{C}=0.032+0.15+0.125=0.307$$

$$X^{''}\_{3}=X\_{6}+X\_{8}+X\_{15}=0.438+0.479+0.043=0.959$$

$$X^{''}\_{4}=X\_{9}=83.333$$

Далее, необходимо преобразовать пассивную «звезду» в «треугольник» (рис. 8, б).

*X``13=*X``1+ X``3+ X``1\*X``3/ X``2=1.052+0.959+1.052\*0.959/0.307=5.298

*X``23=*X``2+ X``3+ X``2\*X``3/ X``1=0.307+0.959+0.307\*0.959/1.052=1.546



а) б)

Рис. 8. Схемы замещения СЭС для расчёта тока КЗ на стороне НН

Для нахождения значений токов от питающий элементов схемы воспользуемся законом Ома:

IG’’= Е’’G / Х``13=1/5.298=0.189

IС’’= Е’’C / Х``23=1/1.546=0.647

IСД’’= Е’’СD /Х``4=1,1/83.333=0.013

Теперь можем определить полный ток в точке КЗ:

IК’’=0.189+0.647+0.013=0.849

Далее, найдем полный ток в точке КЗ в именованных единицах:

 Iб= Sб/\*UH, НН=1000/\*11=52.486 кА.

IК[кА]’’= IК’’\*Iб=44.549 кА.

При нахождении ударного тока будем использовать стандартные формулы, учитывая, что ударные коэффициенты необходимо брать из расчета ступени ВН:

* Для синхронного двигателя КУ=1,86
* Для генератора КУ=1,87
* Для системы КУ=1,84

iyСD= КУСД\*\*IСД’’=1,86\*\*0,013=0.035

iyГ= КУГ\*\*IG’’=1,87\*\*0,189=0.499

iyС= КУС\*\*IС’’=1,84\*\*0,647=1.683

Полный ударный ток находится по формуле:

iy=0.035+0.499+1.683=2.217

В именованных единицах:

iy [kA]= iy\*Iб=2.217\*52.486 =116.363 кА.

Таблица 1.

Сводная таблица результатов расчета

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Шины | Сверхпереходные токи | Ударные токи |
|  | Генер. | Сист. | Синхр. Дв. | Полный ток | В им. ед., кА | Генер. | Сист. | Синхр. Дв. | Полный ток | В им. ед., кА |
| ВН | 0,951 | 3,258 | 0,013 | 4,222 | 11,08 | 2,514 | 8,479 | 0,034 | 11,028 | 28,94 |
| НН | 0,189 | 0,647 | 0,013 | 0,849 | 44,549 | 0,499 | 1,683 | 0,035 | 2,217 | 116,363 |

# 2. Расчет тока трехфазного КЗ на ступени 0,4 кВ

Прежде, чем приступить к расчету параметров схемы замещения на стороне 0,4 кВ необходимо учесть, что в СЭС имеется две параллельные ветви, а подпитка места КЗ идет с двух сторон:

* со стороны шин 10 кВ
* со стороны асинхронного двигателя и нагрузки.

Параметры Е’’ВН и хВН определяется свертыванием схемы замещения рассчитанной на стороне НН (10 кВ).



Рис. 9. Схемы замещения СЭС для расчёта тока КЗ на ступени 0,4 кВ

=1.18



Поскольку точка КЗ расположена на ступени ниже 1000 В, то все расчёты будем вести в именованных единицах (Uб =0,4 кВ) и параметры рассчитываются по соответствующим типовым формулам.

Определим суммарное сопротивление со стороны питающей системы:

хВН = хВН \* U2б / Sб = 1.18 · 0,42/1000= 1.888∙10-4 Ом

Найдем сопротивления кабельных линий:

хКЛ1 = 1/2\* х0 \* l1\* U2б / U2Н = 0,08∙0,30∙0.42/(112\*2) = 1.587∙10-5 Ом

rКЛ1 = 1/2\*r0 \* l1 \* U2б / U2Н = 3.7∙0,30∙0,42/(112 \*2)= 0.73∙10-3 Ом

хКЛ2 = х0 \* l2 \* U2б / (U2Н \*2)= 0.08∙0,03∙0,42/(0,42\*2) = 0,001 Ом

rКЛ2 = r0 \* l2 \* U2б / (U2Н\*2)= 2∙0,03∙0,42/(0,42\*2) = 0.03 Ом

Далее рассчитаем сопротивления трансформатора:

zТЗ = 1/2\* [(uКЗ/100)\*(Uб2/Sн)] = 1/2 [(6/100)\*(0,42/2)] =2.4∙10-3 Ом

rТЗ = 1/2(ΔPКЗ\*Uб2/Sн2) = 1/2(0.03\*0,42/22) = 0.6\*10 -3 Ом

хТЗ= =23.2\*10-4 Ом

Сопротивления автоматов, трансформаторов тока и контакторов зависят от класса напряжения:

хА = 0,45\*10-4 Ом , rА = 0,6\*10-4 Ом – сопротивление автоматов;

rТТ = 2\*10-4 Ом, xТТ = 3,5\*10-4 Ом – сопротивления трансформаторов тока;

rК = 150\*10-4 Ом – сопротивление контакторов.

Суммарные сопротивления схемы:

хсум=хВН+хКЛ1+хКЛ2+хА+хТТ+хТ3=0.004 Ом

rсум =rКЛ1+rКЛ2 + rА + rТТ + rТ3 +rК=0.076 Ом

zсум = = 0.076 Ом

Ток подпитки КЗ со стороны системы:

IКсис = Uб /(\* zсум) = 0,4/(·0.076) = 3.04 кА

Найдем ток от асинхронных двигателей:

, где ,  - взяты из таблицы средних значений

кА

Определим ток от нагрузки:

, где ,  - взяты из таблицы средних значений [1,2]

кА

Тогда общий ток в точке КЗ:

Iксум= IКсис + I’’АД + I’’н =3.04+4.059+0.351=7.45 кА

Для отношения Хсум / rсум = 0.054 - ударный коэффициент kу*сис* = 1.

Теперь можем рассчитать ударный ток от элементов схемы:

iУсис= КУсис\*\* IКсис =1\*\*3.04=4.299 кА

iУАД=КУ\*\*I’’АД=1.3\*\*4.059=7.462 кА

iУН=КУ\*\*I’’н=1\*\*0.351=0.496 кА

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

iyсум = iУсис + iУАД + iУН = 12.257 kA

Таблица 2.

Сводная таблица результатов расчета

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Шины | Сверхпереходные токи | Ударные токи |
|  | Нагруз. | Сист. | Асинхр. Дв. | В им. ед., кА | Нагруз. | Сист. | Асинхр. Дв. | В им. ед., кА |
| 0,4 кВ | 0.351 | 3.04 | 4.059 | 7.45 | 0.496 | 4.299 | 7.462 | 12.257 |

# 3. Расчет несимметричного короткого замыкания

## 3.1 Построение схем различных последовательностей

Схема прямой последовательности (рис.10) соответствует схеме для расчета трехфазного КЗ в этой точке на стороне ВН (Uн = 220 кВ).



а) б)

Рис. 10. Схемы замещения прямой последовательности для расчёта тока НКЗ

Для дальнейшего расчета полученную схему (рис.10,а) необходимо преобразовать к виду (рис.10, б):





Схема обратной последовательности соответствует схеме (свернутой) прямой последовательности в которой отсутствуют все источники ЭДС.

 

а) б)

Рис. 11. Схемы замещения обратной последовательности для расчёта тока НКЗ

Х2Σ=Х” 1Σ=0.237

Составление схемы нулевой последовательности будем вести с учетом способа соединения фаз образующих ее элементов. Двухобмоточный трансформатор должен включаться в схему замещения с учетом конструкции магнитопровода и группы соединения обмоток (в нашем случае – полностью всеми обмотками). Включение в схему автотрансформатора и трехобмоточного трансформатора следует производить аналогично двухобмоточному, только одна из его обмоток всегда заземлена (в нашем случае – войдут только обмотки высокого и низкого напряжения). Параметры линии также определяются ее конструкцией (это моделируется изменением коэффициента d). В нашем случае двухцепная линия с грозозащитным тросом имеет d2= 4,7, а без него - d1=5,5. Из-за способа соединения обмоток в схеме отсутствуют xГ, xСД, и xТС.

 

 а) б)

Рис. 12. Схемы замещения нулевой последовательности для расчёта тока НКЗ

Найдем сопротивления нулевой последовательности:

 ХЛ1(0)= d2•ХЛ1=4.7•0.3616=1.699,

ХЛ2(0)= d2•ХЛ2=4,7•0.241=1.133,

ХЛ3(0)= d2•ХЛ3=4,7•0.1808=0.85,

ХТ2=0.3, ХТ1=0,875; ХТВ=0.875, ХТН=0.958, ХС=0,125



Рис. 13. Преобразование схемы замещения нулевой последовательности

для расчёта тока НКЗ

Приведем результаты расчета:

$$X\_{1\left(0\right)}=X\_{Т1}+X\_{Л1\left(0\right)}=0.875+1.699=2.547$$

$$X\_{2\left(0\right)}=X\_{Т2}+X\_{Л2\left(0\right)}+X\_{C}=0.3+1.133+0.125=1.558$$

$$X\_{3\left(0\right)}=X\_{ТВ}+X\_{ТН}+X\_{Л3\left(0\right)}=0.875+0.958+0.85=2.683$$

$$X\_{4\left(0\right)}=\frac{X\_{1\left(0\right)}∙X\_{3\left(0\right)}}{X\_{1\left(0\right)}+X\_{3\left(0\right)}}=1.314$$

$$X\_{0Σ}=\frac{X\_{4\left(0\right)}∙X\_{2\left(0\right)}}{X\_{4\left(0\right)}+X\_{2\left(0\right)}}=0.713$$

## 3.2 Правило эквивалентности прямой последовательности

Учитывая произведенные определения суммарных сопротивлений схем прямой, обратной и нулевой последовательностей необходимо приступить к расчету тока несимметричного КЗ. Токи и напряжения всех последовательностей пропорциональны току прямой последовательности в точке НКЗ.

Если не учитывать дугу в точке КЗ (металлическое КЗ), то согласно *правилу эквивалентности прямой последовательности* ток прямой последовательности (для особой фазы А) имеет вид:

, (3)

где добавочные сопротивления (шунта) зависят от вида НКЗ):

* для однофазного КЗ: ∆X(1)=∆X1)=XΣ2+XΣ0=0.237+0.713=0.95;
* для двухфазного КЗ: ∆X(2)=∆X(2)=X Σ2=0.237;
* для двухфазного КЗ на землю: .

Фазный ток в точке КЗ аварийной фазы принято находить путем умножения тока особой фазы А на фазный коэффициент m(n) [1,2].

, (4)

где фазный коэффициент определяют:

* для однофазного КЗ: m(1)=3
* для двухфазного КЗ: m(2)= 
* для двухфазного КЗ на землю: 

## 3.3 Расчет практическим методом установившегося режима однофазного короткого замыкания

Ток прямой последовательности для особой фазы А однофазного замыкания в первоначальный момент времени возникновения КЗ найдем по формуле:



Фазный ток сверхпереходного режима:



В именованных единицах:



Методика расчета несимметричных КЗ в установившемся режиме аналогична сверхпереходному, с той лишь разницей, что все элементы схемы должны быть замещены своими синхронными параметрами.

Схема прямой последовательности определяется на основании эквивалентной схемы замещения (для упрощения расчета влиянием АРВ пренебрегаем). Параметры схемы рассчитываются по стандартным формулам [1,2] для соответствующего элемента цепи. Все параметры синхронных машин замещаются своими синхронными параметрами:

хг∞ = 

Когда определены все параметры эквивалентной схемы замещения нужно привести ее к виду более удобную для последующих расчетов:



$$X\_{16}=X\_{1}+X\_{2}+X\_{13}=2,97+0.292+0.085=3.347$$

$$X\_{17}=X\_{14}+X\_{5}+X\_{C}=0.032+0.15+0.125=0.307$$

$$X\_{18}=X\_{6}+X\_{8}+X\_{15}=0.438+0.479+0.043=0.959$$



 а) б)

Рис. 14. Схемы прямой последовательности установившегося режима НКЗ

При дальнейшем расчете этой схемы следует преобразовать ее к виду:





Поскольку, при составлении схем обратной и нулевой последовательностей, её элементы не зависят от момента времени переходного процесса, то для них справедливы равенства:

ХΣ2 =Х”Σ1=0.237

ХΣ0= 0,713

В этом случае сопротивление шунта остаётся таким же:

∆X(1)=∆X(1)=XΣ2+XΣ0=0.237+0.713=0.95

Поэтому для особой фазы А ток прямой последовательности



Определим фазный ток: 

Таким образом, в именованных единицах:



Теперь можем определить ударный ток в точке КЗ (приближенная оценка kу = 1.84)

*i*у = kу  I(1) кA = 1.84∙∙6.747 = 17.557 кA

## 3.4 Расчет коэффициентов тяжести аварий

Для определения того, какой из видов короткого замыкания наиболее опасен необходимо определить коэффициенты тяжести аварий, которые рассчитываются по формуле (для случая сверхпереходного режима):

 (5)

После подстановки в это выражение найденные ранее значения имеем для первоначального момента возникновения НКЗ:

Для однофазного КЗ: 

Для двухфазного КЗ: 

Для двухфазного К.З. на землю: 

Таблица 3.

Сводная таблица результатов расчета

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид НКЗ | Сверхпереходной ток | Ударный ток, кА | Коэфф. тяжести |
|  | сверхперех. | фазн. сверхперех. | сверхперех. в им. ед., кА |  |  |
| одноф. КЗ | 0,857 | 2,571 | 6,747 | 17,557 | 0,599 |
| двухф. КЗ | 2.11 | 3.655 | 9.592 | 24.96 | 0,866 |
| двухф. КЗ на землю | 2.411 | 3.765 | 9.881 | 25.712 | 0,892 |

# Заключение

В данной курсовой работе был произведен расчет сверхпереходных и ударных токов КЗ трехфазных на шинах ВН и НН, а также на стороне 0,4 кВ. Кроме того, были рассмотрены несимметричные короткие замыкания на стороне ВН и рассчитаны коэффициенты тяжести аварий для соответствующих видов НКЗ.

Результаты расчетов были оформлены в виде сводных таблиц по каждому из разделов. Как следует из полученных в результате расчетов данных, самым опасным НКЗ является двухфазное замыкание на землю, но ввиду того, что коэффициент тяжести для данного КЗ меньше единицы, то наиболее опасным осталось трехфазное КЗ. Следовательно именно его ударный ток остаётся для выбора оборудования СЭС на стороне ВН.

Выполнение данной курсовой работы позволило закрепить ранее полученные теоретические знания о системах электроснабжения и методике расчета коротких замыканий. Были получены практические навыки по расчету различных видов коротких замыканий: трехфазных, несимметричных КЗ и др.

# Список литературы

1. Сенько В.В. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения. Методические указания к курсовой работе. – Тольятти: ТГУ. – 40 с.
2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М: Энергия, 1970, - 520 с.
3. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. - М: Энергия, 1968, - 495 с.
4. Воробьев Г.В., Тепикина Г.М., Титова М.В., Володина Т.В., Пьянова Л.А., Феопентова Н.В. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Методические указания к курсовому проектированию. - Тольятти, 1983. - 75 с.