Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Тольяттинский государственный университет»

Электроэнергетика и электротехника

**КУРСОВАЯ РАБОТА (КУРСОВОЙ ПРОЕКТ)**

по учебному курсу «Электромагнитные и электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах»

Вариант

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

Тольятти 2018

Содержание

[Введение 3](#_Toc516843579)

[1 Расчет параметров симметричного короткого замыкания на ступени напряжения Uб=220 кВ 4](#_Toc516843580)

[1.1 Расчет параметров схемы замещения 4](#_Toc516843581)

[1.2 Расчет тока трехфазного короткого замыкания на ступени напряжения 220 кВ 7](#_Toc516843582)

[1.3 Расчет ударного тока короткого замыкания на ступени напряжения 220 кВ 9](#_Toc516843583)

[2 Расчет параметров симметричного короткого замыкания на ступени напряжения Uб=10 кВ 11](#_Toc516843584)

[2.1 Составление схемы замещения и ее эквивалентирование 11](#_Toc516843585)

[2.2 Расчет тока трехфазного короткого замыкания на ступени напряжения 10 кВ 12](#_Toc516843586)

[2.3 Расчет ударного тока короткого замыкания на ступени напряжения 10 кВ 14](#_Toc516843587)

[3 Расчет тока симметричного короткого замыкания для выбора оборудования 0,4 кВ 16](#_Toc516843588)

[4 Расчет токов несимметричных коротких замыканий 19](#_Toc516843589)

[4.1 Определение суммарного сопротивления прямой последовательности 19](#_Toc516843590)

[4.2 Определение суммарного сопротивления обратной последовательности 20](#_Toc516843591)

[4.3 Определение суммарного сопротивления нулевой последовательности 20](#_Toc516843592)

[4.4. Определение токов несимметричных коротких замыкания при напряжении 220 кВ 22](#_Toc516843593)

[4.5. Определение ударных токов несимметричных коротких замыканий 23](#_Toc516843594)

[4.6. Определение коэффициентов тяжести аварии 24](#_Toc516843595)

[Заключение 25](#_Toc516843596)

[Список литературы 26](#_Toc516843597)

[Задание на курсовую работу 27](#_Toc516843598)

# Введение

Режим короткого замыкания считается одним из самых опасных состояний электрической сети независимо от места его возникновения.

Подобные аварийные состояния приводят к возникновению пожаров, порче имущества и дорогостоящего электрооборудования.

Именно поэтому, перед строительством подстанций, крупных энергообъектов, прокладкой ВЛЭП, КЛЭП, еще на этапе проектирования обязательно просчитываются все возможные аварийные ситуации, определяется наиболее тяжелые из них для правильного выбора типа и параметров электрического оборудования.

# 1 Расчет параметров симметричного короткого замыкания на ступени напряжения Uб=220 кВ

# 1.1 Расчет параметров схемы замещения

Расчет тока короткого замыкания на ступени напряжения 220 кВ ведем в относительных единицах. Для этого заданная расчетная схема представляется в виде схемы замещения (рисунок 1.1).

Расчет выполняем на основе метода расчетных кривых.

Базисные условия: Sб=100 MBA, Uб=230 кB.

Определяем сопротивление гидрогенератора:

ХГ=Х’’d\*SБ\*cosφ/РН, (1.1)

где Х’’d – сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси,

РН, cosφ - номинальная активная мощность и коэффициент мощности генератора.

ХГ=0,15\*100\*0,80/150=0,080

ЭДС гидрогенератора принимаем равной Е’’G = 1,0 (Х.Х.).

Определяем сопротивление ВЛЭП:

ХЛ=Х0\**l*\*SБ/UСРН2, (1.2)

где Х0 – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км,

*l* – длина ВЛЭП, км.

ХЛ1=0,4\*50\*100/2302=0,038;

ХЛ2=0,4\*75\*100/2302=0,057.

ХЛ3=0,4\*37,5\*100/2302=0,028.

Определяем сопротивление двухобмоточных трансформаторов:

ХТ=(UК/100)\*(SБ/SНОМ), (1.3)

где UК – напряжение короткого замыкания, % (справочные данные).

SНОМ - номинальная полная мощность трансформатора.

ХТ1=(6/100)\*(100/100)=0,060;

ХАТ=(6/100)\*(100/100)=0,060.

Определяем сопротивление трехобмоточных трансформаторов:

UКВ=0,5(UКВ-Н+UКВ-С-UКС-Н) (1.4)

UКС=0,5(-UКВ-Н+UКВ-С+UКС-Н) (1.5)

UКН=0,5(UКВ-Н-UКВ-С+UКС-Н) (1.6)

ХТ2В=(UКВ/100)\*(SБ/SН) (1.7)

ХТ2С=(UКС/100)\*(SБ/SН) (1.8)

ХТ2Н=(UКН/100)\*(SБ/SН) (1.9)

UКВ=0,5(10+4,0-3,5)=5,25%

UКС=0,5(-10+4,0+3,5)= - 1,25%

UКН=0,5(10-4,0+3,5)=4,75%

ХТ2В=(5,25/100)\*(100/40)=0,131

ХТ2С=(-1,25/100)\*(100/40)=-0,031≈0

ХТ2Н=(4,75/100)\*(100/40)=0,119

Определяем сопротивление питающей системы:

ХС= SБ/SКЗ, (1.10)

где SК.З – мощность короткого замыкания системы, МВА.

ХС=100/4000=0,025

ЭДС системы принимаем равной Е’’C = 1,0.

Определяем сопротивление синхронного двигателя:

ХСД= Х’’d\*SБ/SН (1.11)

ХСД=0,23\*100/2=11,5

ЭДС синхронного двигателя принимаем равной Е’’СD = 1,1.



Рисунок 1.1 – Схема замещения рассматриваемой сети

Первый этап преобразования схемы замещения (рисунок 1.2):

Х1=ХГ/2=0,080/3=0,040

Х2=ХТ1/3=0,06/3=0,030

Х3=ХЛ1/2=0,038/2=0,019

Х4=ХЛ2/3=0,057/3=0,019

Х5=ХЛ3/2=0,028/2=0,014

Х6=ХАТ/3=0,06/3=0,020

Х7=ХТ2В/2=0,131/2=0,066

Х8=ХТ2С/2=0

Х9=ХТ2Н/2=0,119/2=0,059

Х10=ХСД/4=11,5/4=2,875



Рисунок 1.2 – Первый этап преобразования схемы замещения

Второй этап преобразования схемы замещения (рисунок 1.3):

Х11= Х1+Х2+Х3+Х5 +(Х1+Х2+Х3)\*Х5/( Х4+Х6+ХС)=

=0,040+0,030+0,019+0,014+(0,040+0,030+0,019)\*0,014/(0,019+0,020+0,025)=

=0,123

Х12= Х4+Х6+ХС +Х5 +( Х4+Х6+ХС)\*Х5/( Х1+Х2+Х3)=

=0,019+0,020+0,025+0,014+0,014\*(0,019+0,020+0,025)/(0,040+0,030+0,019)=

=0,088

Х13= Х7+Х9+Х10=0,066+0,059+2,875=3,000



Рисунок 1.3 – Второй этап преобразования схемы замещения

# 1.2 Расчет тока трехфазного короткого замыкания на ступени напряжения 220 кВ

Для нахождения сверхпереходного тока от питающих элементов системы воспользуемся законом Ома:

I’’G = Е’’G /Х11=1/0,123=8,143

I’’C = Е’’C /Х12=1/0,088=11,329

I’’ CD = Е’’ CD /Х13=1,1/3,000=0,367

Полный ток в точке КЗ в относительных единицах:

I’’К о.е. = I’’G + I’’С + I’’CD =8,143+11,329+0,367=19,838

Базисный ток:

IБ=SБ/(1,73\*UБ)=100/(1,73\*230)=0,251 кА

Полный ток в точке КЗ в именованных единицах:

I’’К = I’’К о.е.\* IБ=19,838\*0,251=4,980 кА

Согласно методу расчетных кривых ток от питающей системы не меняется во времени, током от синхронных двигателей можно пренебречь (так как его величина ничтожно мала), а составляющие от турбогенераторов с АРВ определим по расчетным кривым в различные моменты времени.

Определим расчетное сопротивление гидрогенераторов:

ХРАСЧ=Х11\*РН\*n/(SБ\*cosφ)=0,123\*150\*2/(100\*0,80)=0,461

По расчетным кривым [1, с. 246-247] для турбогенератора с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) определим токи КЗ в относительных единицах в различные моменты времени:

t=0 Iг0’’=2,2\*( 2\*РH/(Sб\*cosφн))=2,2\*150\*2/(100\*0,80)=8,250;

t=0,1с Iг0,1’’=2\*( 2\*РH/(Sб\*cosφн))=2\*150\*2/(100\*0,80)=7,500;

t=0,2с Iг0,2’’=1,95\*( 2\*РH/(Sб\*cosφн))=1,95\*150\*2/(100\*0,80)=7,313;

t=0,5с Iг0,5’’=1,7\*( 2\*РH/(Sб\*cosφн))=1,7\*150\*2/(100\*0,80)=6,375;

t=2,0 с Iг2,0’’=1,8\*( 2\*РH/(Sб\*cosφн))=1,8\*150\*2/(100\*0,80)=6,750;

t=∞ Iг∞’’=1,95\*( 2\*РH/(Sб\*cosφн))=1,95\*150\*2/(100\*0,80)=7,313.

Полный ток в точке КЗ в относительных единицах в различные моменты времени:

t=0 IK0’’= Iг0’’+IC’’=8,250+11,329=19,579;

t=0,1с IK0,1’’= Iг0,1’’+IC’’=7,500+11,329=18,829;

t=0,2с IK0,2’’= Iг0,2’’+IC’’=7,313+11,329=18,641;

t=0,5с IK0,5’’= Iг0,5’’+IC’’=6,375+11,329=17,704;

t=2,0 с IK2,0’’= Iг2,0’’+IC’’=6,750+11,329=18,079;

t=∞ IK∞’’= Iг∞’’+IC’’=7,313+11,329=18,641.

Полный ток в точке КЗ в именованных единицах в различные моменты времени:

t=0 IK0’’=19,579\*0,251=4,915кА;

t=0,1с IK0,1’’=18,829\*0,251=4,726 кА;

t=0,2с IK0,2’’=18,641\*0,251=4,679 кА;

t=0,5с IK0,5’’=17,704\*0,251=4,444 кА;

t=2,0 с IK2,0’’=18,079\*0,251=4,538 кА;

t=∞ IK∞’’=18,641\*0,251=4,679 кА.

Результаты расчетов токов КЗ сведем в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты расчета тока трехфазного КЗ в различные моменты времени

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t, с** | **0** | **0,1** | **0,2** | **0,5** | **2,0** | **∞** |
| **IK’’, о.е.** | 19,579 | 18,829 | 18,641 | 17,704 | 18,079 | 18,641 |
| **IK’’, кА** | 4,915 | 4,726 | 4,679 | 4,444 | 4,538 | 4,679 |

Рисунок 1.4 – График тока КЗ на шинах 220 кВ

# 1.3 Расчет ударного тока короткого замыкания на ступени напряжения 220 кВ

Ударный ток КЗ соответствует наиболее тяжелому режиму работы энергосистемы и равен:

iУД=1,41\*IПО\*(1+sinφК\*e-tуд/Та)= 1,41\*IПО\*КУ=1,41\*КУ\*I’’, (1.12)

где КУ=1+sinφ \*e-tуд /Та - ударный коэффициент, зависящий от соотношения активного и индуктивного сопротивления, а также от определяемый приближенно в зависимости от места КЗ;

Та - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ;

φК - угол фазного сдвига напряжения и периодической составляющей тока КЗ.

Ударные коэффициенты примем приближенно:

КУG=1,9, КУС=1,6, КУCD=1,8.

Тогда ударные токи от системы, генератора и синхронных дивгателей равны:

iУДG=1,41\*КУG\*I’’G=1,41\*1,9\*8,143=21,880

iУДС=1,41\*КУС\*I’’С=1,41\*1,6\*11,329=25,634

iУДСD=1,41\*КУСD\*I’’СD=1,41\*1,8\*0,367=0,933

Суммарный ударный ток КЗ в относительных единицах:

iУД о.е.= iУДG+ iУДС+ iУДCD=21,880+25,634+0,933=48,447

Суммарный ударный ток КЗ в именованных единицах:

iУД= iУД о.е \*IБ=48,447\*0,251=12,161 кА

Результаты расчета представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчета трехфазного тока короткого замыкания в различные моменты времени

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ед. изм.** | **iУДG** | **iУДС** | **iУДСD** | **iУД** |
| **о.е.** | 21,880 | 25,634 | 0,933 | 48,447 |
| **кА** | 5,492 | 6,435 | 0,234 | 12,161 |

# 2 Расчет параметров симметричного короткого замыкания на ступени напряжения Uб=10 кВ

# 2.1 Составление схемы замещения и ее эквивалентирование

Расчет тока короткого замыкания на ступени напряжения 10 кВ также ведется в относительных единицах. Схема замещения представлена на рисунке 2.1, а ее параметры были определены в п. 1.1.



Рисунок 2.1 – Схема замещения при КЗ на ступени напряжения 10 кВ

Выполним эквивалентирование схемы (рисунок 2.2):

Х’11= Х’1+Х’2+Х’3+Х’5 +Х’7+Х’9 +(Х’1+Х’2+Х’3)\*(Х’5 +Х’7+Х’9)/

/( Х’4+Х’6+Х’С)=0,040+0,030+0,019+0,014+0,066+0,059+(0,040+0,030+0,019)\*

\*(0,014+0,066+0,059)/(0,019+0,020+0,025)=0,421

Х’12= Х’4+Х’6+Х’С + Х’5 +Х’7+Х’9+( Х’4+Х’6+ХС)\* (Х’5 +Х’7+Х’9)/

/( Х’1+Х’2+Х’3)=

=0,019+0,020+0,025+0,014+0,066+0,059+(0,014+0,066+0,059)\*(0,019+0,020+

+0,025)/(0,040+0,030+0,019)=0,303



Рисунок 2.2 Эквивалентная схема замещения при КЗ

на ступени напряжения 10 кВ

# 2.2 Расчет тока трехфазного короткого замыкания на ступени напряжения 10 кВ

Для нахождения сверхпереходного тока от питающих элементов системы воспользуемся законом Ома:

I’’G = Е’’G /Х’11=1/0,421=2,375

I’’C = Е’’C /Х’12=1/0,303=3,300

I’’ CD = Е’’ CD /Х’10=1,1/2,875=0,383

Полный ток в точке КЗ в относительных единицах:

I’’К о.е. = I’’G + I’’С + I’’CD =2,375+3,300+0,383=6,058

Базисный ток:

IБ=SБ/(1,73\*UБ)=100/(1,73\*10,5)=5,499 кА

Полный ток в точке КЗ в именованных единицах:

I’’К = I’’К о.е.\* IБ=6,058\*5,499=33,312 кА

Периодическую слагающую тока КЗ во времени находим аналогично п.1.

Составляющая тока от системы не меняется IС=const=3,3.

Расчетное сопротивление генераторов передающей станции определим по формуле:

SГΣ=2\*РH/cosφн =2\*150/0,8=375 МВА

ХРАСЧ.Г= Х’11\* SГΣ /Sб=0,421\*375/100=1,579

По расчетным кривым [1, с. 246-247] для турбогенератора с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) определим токи КЗ в относительных единицах в различные моменты времени:

t=0 Iг0’’=0,61\*(SГΣ /Sб)=0,61\*(375/100)=2,288;

t=0,1с Iг0,1’’=0,6\*(SГΣ /Sб)=0,6\*(375/100)=2,250;

t=0,2с Iг0,2’’=0,59\*(SГΣ /Sб)=0,59\*(375/100)=2,213;

t=0,5с Iг0,5’’=0,55\*(SГΣ /Sб)=0,55\*(375/100)=2,063;

t=2,0 с Iг2,0’’=0,65\*(SГΣ /Sб)=0,65\*(375/100)=2,438;

t=∞ Iг∞’’=0,69\*(SГΣ /Sб)=0,69\*(375/100)=2,588.

Расчетное сопротивление синхронных двигателей определим по формуле:

SCDΣ=4\*SCD=4\*2=8 МВа

ХРАСЧ.CD= Х’10\* SCDΣ /Sб=2,875\*8/100=0,230

Приняв синхронные двигатели как турбогенераторы без АРВ с ДО, по расчетным кривым [1, с. 246-247] определим токи КЗ в относительных единицах в различные моменты времени:

t=0 ICD0’’=4,0\*(SCDΣ /Sб)=4,0\*(8/100)=0,320;

t=0,1с ICD0,1’’=3,8\*(SCDΣ /Sб)=3,8\*(8/100)=0,304;

t=0,2с ICD0,2’’=3,6\*(SCDΣ /Sб)=3,6\*(8/100)=0,288;

t=0,5с ICD0,5’’=2,6\*(SCDΣ /Sб)=2,6\*(8/100)=0,208;

t=2,0 с ICD2,0’’=1,75\*(SCDΣ /Sб)=1,75\*(8/100)=0,140;

t=∞ ICD∞’’=1,35\*(SCDΣ /Sб)=1,35\*(8/100)=0,108.

Полный ток в точке КЗ в относительных единицах в различные моменты времени:

t=0 IK0’’= Iг0’’+IC’’+ICD0’’=2,288+0,320+3,300=5,908;

t=0,1с IK0,1’’= Iг0,1’’+IC’’+ICD0,1’’=2,250+0,304+3,300=5,854;

t=0,2с IK0,2’’= Iг0,2’’+IC’’+ ICD0,2’’=2,213+0,288+3,300=5,801;

t=0,5с IK0,5’’= Iг0,5’’+IC’’+ICD0,5’’=2,063+0,208+3,300=5,571;

t=2,0 с IK2,0’’= Iг2,0’’+IC’’+ICD2,0’’=2,438+0,140+3,300=5,878;

t=∞ IK∞’’= Iг∞’’+IC’’+ICD∞’’=2,588+0,108+3,300=5,996.

Полный ток в точке КЗ в именованных единицах в различные моменты времени:

t=0 IK0’’=5,908\*5,499=32,486 кА;

t=0,1с IK0,1’’=5,854\*5,499=32,189 кА;

t=0,2с IK0,2’’=5,801\*5,499=31,897 кА;

t=0,5с IK0,5’’=5,571\*5,499=30,633 кА;

t=2,0 с IK2,0’’=5,878\*5,499=32,321 кА;

t=∞ IK∞’’=5,996\*5,499=32,969 кА.

Таблица 2.1 – Результаты расчета тока трехфазного КЗ в различные моменты времени

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t, с** | **0** | **0,1** | **0,2** | **0,5** | **2,0** | **∞** |
| **IK’’, о.е.** | 5,908 | 5,854 | 5,801 | 5,571 | 5,878 | 5,996 |
| **IK’’, кА** | 32,486 | 32,189 | 31,897 | 30,633 | 32,321 | 32,969 |

Рисунок 2.3 – График тока КЗ на шинах 10 кВ

# 2.3 Расчет ударного тока короткого замыкания на ступени напряжения 10 кВ

Ударные коэффициенты примем из п.1.3:

КУG=1,9, КУС=1,6, КУCD=1,8.

Тогда ударные токи от системы, генератора и синхронных двигателей в относительных единицах равны:

iУДG=1,41\*КУG\*I’’G=1,41\*1,9\*2,375=6,382

iУДС=1,41\*КУС\*I’’С=1,41\*1,6\*3,300=8,867

iУДСD=1,41\*КУСD\*I’’СD=1,41\*1,8\*0,383=1,029

Суммарный ударный ток КЗ в относительных единицах:

iУД о.е.= iУДG+ iУДС+ iУДCD=6,382+8,867+1,029=16,278

Суммарный ударный ток КЗ в именованных единицах:

iУД= iУД о.е \*IБ=16,278\*5,499=89,506 кА

Таблица 2.2 – Результаты расчета трехфазного тока короткого замыкания в различные моменты времени

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ед. изм.** | **iУДG** | **iУДС** | **iУДСD** | **iУД** |
| **о.е.** | 6,382 | 8,867 | 1,029 | 16,278 |
| **кА** | 35,095 | 48,760 | 5,658 | 89,506 |

# 3 Расчет тока симметричного короткого замыкания для выбора оборудования 0,4 кВ

Обмотки вторичного напряжения трансформаторов Т2 по заданию являются источником постоянного напряжения. Составим схему замещения (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Схема замещения на ступени 0,4 кВ

Для расчета тока КЗ при напряжении Uном<1000 В, рассчитаем параметры схемы замещения в именованных единицах при базисном напряжении Uб =0,4 кВ.

Определим сопротивление трансформатора 10/0,4 кВ Т3:

zТ3=(uK%/100%)\*(UБ2/SН)=(5,5/100)\*(0,42/4)=220\*10-5 Ом

rТ3=∆РКЗ\*(UБ2/S2Н)=0,100\*(0,42/42)=100\*10-5 Ом

хТ3=(z2Т3- r2Т3)1/2=((220\*10-5)2-(100\*10-5) 2)1/2=195,959\*10-5 Ом

Определим сопротивления кабельных линий 10 кВ и 0,4 кВ:

хКЛ1=х0\*lКЛ1\*(UБ2/UН2)=0,08\*0,35\*(0,42/10,52)=4,063\*10-5 Ом

rКЛ1=r0\*lКЛ1\*(UБ2/UН2)=4,00\*0,35\*(0,42/10,52)=193,016\*10-5 Ом

хКЛ2=х0\*lКЛ2=0,08\*0,045=360\*10-5 Ом

rКЛ2=r0\*lКЛ2=1,95\*0,045=8775\*10-5 Ом

Определим сопротивления автоматов, трансформаторов тока и контакторов: хА=4,5\*10-5 Ом, rА=6\*10-5 Ом, хТТ=35\*10-5 Ом, rТТ=20\*10-5 Ом, rК=1500\*10-5 Ом.

Определим результирующие активное и индуктивное сопротивления:

хΣ= хКЛ1+ хТ3+ хКЛ2+ хА+ хТТ=(4,063+360+195,959+4,5+35)\* 10-5=

=599,523\*10-5 Ом

rΣ= rКЛ1 +rТ3 +rКЛ2 +rА +rТТ +rК=(193,016+8775+100+6+20+1500)\* 10-5=

=10594,016\*10-5 Ом

zΣ=(x2Σ+r2Σ)1/2=((599,523\*10-5)2+(10594,016\*10-5) 2)1/2=10610,966\*10-5 Ом

Ток трехфазного КЗ от системы:

IК.СИС=UБ/(1,73\*zΣ)=0,4/(1,73\*10610,966\*10-5)=2,176 кА

Питающий точку КЗ ток от асинхронных двигателей:

I’’АД= Е’’АД\*IН/ХАД =(Е’’АД/ХАД)\*РН/(1,73\*UН\*cosφН) (3.1)

где Е’’АД, ХАД – приняты приближенно.

I’’АД=(0,9/0,2)\*1/(1,73\*0,4\*0,85)=7,641 кА

Питающий точку КЗ ток от нагрузки:

I’’Н= Е’’Н\*IН/ХН =(Е’’АД/ХН)\*SНΣ/(1,73\*UН) (3.2)

где Е’’Н, ХН - приняты приближенно [1,2].

I’’Н=(0,85/0,35)\*2/(1,73\*0,4)=7,011 кА

Суммарный ток трехфазного КЗ:

IКΣ= IК.СИС+ I’’АД+ I’’Н=2,176+7,641+7,011=16,829 кА

Определим отношение результирующих индуктивного и активного сопротивлений схемы:

хΣ/rΣ=(599,523\*10-5)/(10594,016\*10-5)=0,057

Определим ударный коэффициент от системы по специальной кривой Ку=f(хΣ/rΣ):

КУ.СИС=1,00.

Ударные коэффициенты от нагрузки и асинхронных двигателей приняты согласно рекомендациям [1].

Составляющие ударного тока от элементов схемы:

iУ.СИС= КУ.СИС\*1,41\* IК.СИС=1\*1,41\*2,176=3,078 кА

iУ.АД= КУ.АД\*1,41\* IК.СИС=1,3\*1,41\*7,641=14,049 кА

iУ.Н= КУ.Н\*1,41\* IК.СИС=1\*1,41\*7,011=9,915 кА

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

iУΣ= iУ.СИС+iУ.АД+iУ.Н=3,078+14,049+9,915=27,041 кА

Расчеты сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета трехфазного и ударного токов КЗ на стороне 0,4 кВ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Величина** | **Система** | **Асинхронные двигатели** | **Нагрузка** | **Итого** |
| **iУ, кА** | 3,078 | 14,049 | 9,915 | 27,041 |
| **IК, кА** | 2,176 | 7,641 | 7,011 | 16,829 |

# 4 Расчет токов несимметричных коротких замыканий

Для расчета несимметричного короткого замыкания используем метод симметричных составляющих, согласно которому несимметричная система векторов раскладывается на три симметричных составляющих: прямую, обратную и нулевую последовательности. Каждой из этих последовательностей соответствует своя схема замещения.

# 4.1 Определение суммарного сопротивления прямой последовательности

Схема прямой последовательности (рисунок 4.1) соответствует схеме для расчета трехфазного КЗ в этой точке на стороне 220 кВ.



Рисунок 4.1 Схема замещения прямой последовательности

Суммарное сопротивление прямой последовательности:

Х’’Σ1=1/(1/Х11+1/Х12+1/Х13)=1/(1/0,123+1/0,088+1/3,000)=0,050

Результирующая ЭДС прямой последовательности:

ЕΣ1=( ЕГГ/Х10+ ЕС/Х11+ ЕCD/Х12)/(1/Х10+1/Х11+1/Х12)=

=(1/0,123+1/0,088+1,1/3,000) / ( 1/0,123+1/0,088+1/3,000)=1,002

# 4.2 Определение суммарного сопротивления обратной последовательности

Схема обратной последовательности приведена на рисунке 4.2. Основное ее отличие от схемы замещения прямой последовательности – это отсутствие ЭДС.



Рисунок 4.2 Схема замещения обратной последовательности

Результирующее сопротивление обратной последовательности:

ХΣ2= Х’’Σ1=0,050

# 4.3 Определение суммарного сопротивления нулевой последовательности

Схема нулевой последовательности составляется с учетом способа соединения фаз образующих ее элементов. А сопротивление нулевой последовательности ВЛЭП зависит от исполнения ВЛЭП (количество цепей, наличие грозозащитного троса и т.д.), что учитывается специальным коэффициентом d.

Схемы соединения обмоток элементов энергосистемы приведена на рисунке 4.3, а схема замещения – на рисунке 4.4.

Рисунок 4.3 – Однолинейная схема энергосистемы с указанием схем соединения обмоток элементов



Рисунок 4.4 Схема замещения нулевой последовательности

Найдем сопротивления элементов нулевой последовательности:

ХЛ1(0)=d1\*ХЛ1=3\*0,016=0,057; ХЛ2(0)=d2\*ХЛ2=4,7\*0,019=0,089; ХС=0,025;

ХЛ3(0)=d3\*ХЛ3=4,7\*0,014=0,067; ХТ1Σ=0,02; ХАТΣ=0,02; ХТ2ВΣ=0,033; ХТ2НΣ=0,059.

Преобразуем схему (рисунок 3.5).

Х1(0)= ХТ1Σ+ХЛ1(0)=0,02+0,057=0,077

Х2(0)= ХТ2 ВΣ+ ХТ2 НΣ=0,066+0,059=0,125

Х3(0)= ХЛ2(0)+ ХАТΣ+ ХС=0,089+0,02+0,025=0,134

Х4(0)= ХЛ3(0)+ Х1(0)\*Х3(0)/(Х1(0)+ Х3(0))=0,067+0,077\*0,134/(0,077+0,134)=

=0,119

Результирующее сопротивление нулевой последовательности:

ХΣ0=1/(1/ Х2(0)+1/ Х4(0)=1/(1/0,125+1/0,119)=0,061



Рисунок 4.5 – Этапы преобразования схемы нулевой последовательности

# 4.4. Определение токов несимметричных коротких замыкания при напряжении 220 кВ

Если принять короткое замыкание металлическим (без учета дуги), то ток прямой последовательности особой фазы имеет вид:

IК1( n)= ЕΣ 1/( Х’ ’Σ1+∆Х(n )), (4.1)

где ∆Х(n) – добавочное сопротивление, зависящее от вида несимметричного короткого замыкания:

* для однофазного КЗ: ∆Х(1)= ХΣ2+ХΣ0=0,050+0,061=0,112;
* для двухфазного КЗ: ∆Х(2)= ХΣ2 =0,050;
* для двухфазного КЗ на землю: ∆Х(1,1)= ХΣ2\*ХΣ0/(ХΣ2+ХΣ0)=

=0,050\*0,061/(0,050+0,057)=0,028.

Ток прямой последовательности для особой фазы в относительных единицах:

* для однофазного КЗ: IК1о.е.(1)= 1,002/( 0,050+0,112)=6,183;
* для двухфазного КЗ: IК1о.е.(2)= 1,002/( 0,050+0,050)=9,919;
* для двухфазного КЗ на землю: IК1о.е.(1,1)= 1,002/( 0,050+0,028)=12,822.

Ток прямой последовательности (для особой фазы А) в именованных единицах:

* для однофазного КЗ: IК1(1)= IК1о.е. (1)\* IБ=6,183\*0,251=1,552 кА;
* для двухфазного КЗ: IК1(2)= IК1о.е. (2)\* IБ=9,919\*0,251=2,490 кА;
* для двухфазного КЗ на землю: IК1(1,1)= IК1о.е. (1,1)\* IБ=

=12,822\*0,251=3,219 кА.

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

IК(n)= m(n)\* IК1(n), (4.2)

где фазный коэффициент m(n) равен:

* для однофазного КЗ: m(1)=3;
* для двухфазного КЗ: m(2)=1,73;
* для двухфазного КЗ на землю: m(1,1)=1,73\*(1-∆Х(1,1)/∆Х(1))1/2=

=1,73\*(1-0,028/0,112)1/2=1,502.

Фазный ток в точке КЗ особой фазы А в относительных единицах:

* для однофазного КЗ: IКо.е.(1)= m(1)\* IК1(1)=3\*6,183=18,548;
* для двухфазного КЗ: IКо.е.(2)= m(2)\* IК1(2)=1,73\*9,919=17,180;
* для двухфазного КЗ на землю: IКо.е.(1,1)= m(1,1)\* IК1(1,1)=

=1,502\*12,822=19,261.

Фазный ток в точке КЗ особой фазы А в именованных единицах:

* для однофазного КЗ: IК(1)= IКо.е. (1)\* IБ=18,548\*0,251=4,656 кА;
* для двухфазного КЗ: IК(2)= IКо.е. (2)\* IБ=17,180\*0,251=4,313 кА;
* для двухфазного КЗ на землю: IК(1,1)= IКо.е. (1,1)\* IБ=

=19,261\*0,251=4,835 кА.

# 4.5. Определение ударных токов несимметричных коротких замыканий

Ударный ток короткого замыкания определим с учетом ударного коэффициента , принятого приближенно при КЗ на шинах 220 кВ ПС:

* для однофазного КЗ: iУД(1)= 1,41\*КУ\* IК(1)=1,41\*1,8\*4,656=11,852 кА;
* для двухфазного КЗ: iУД(2)= 1,41\*КУ\* IК(2)=1,41\*1,8\*4,313=10,978 кА;
* для двухфазного КЗ на землю: iУД(1,1)= 1,41\*КУ\* IК(1,1)=

=1,41\*1,8\*4,835=12,308 кА.

# 4.6. Определение коэффициентов тяжести аварии

Самый опасный вид короткого замыкания определяется на основе расчета коэффициентов тяжести аварии:

k’’(n)=m(n)/(1+∆Х(n)/Х’’Σ1) (4.3)

Рассчитаем коэффициенты тяжести аварии для каждого вида несимметричного КЗ:

* для однофазного КЗ: k’’(1)=m(n)/(1+∆Х(1)/Х’’Σ1)=

=3/(1+0,112/0,050)=0,935;

* для двухфазного КЗ: k’’(2)=m(2)/(1+∆Х(n)/Х’’Σ1)=

=1,73/(1+0,050/0,050)=0,866;

* для двухфазного КЗ на землю: k’’(1,1)=m(n)/(1+∆Х(1,1)/Х’’Σ1)=

=1,502/(1+0,028/0,050)=0,971.

Для данного случая можно сделать вывод, что так как коэффициенты тяжести несимметричных коротких замыканий меньше единицы, то самым опасным остаётся трёхфазное КЗ. Следовательно, именно его ударный ток должен учитываться при выбора оборудования подстанции на стороне 110 кВ.

Результаты расчета сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1. Результаты расчета сверхпереходных токов несимметричных КЗ на стороне 110 кВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид КЗ** | **∆Х** | **IК1(n), о.е.** | **IК1(n), кА** | **m(n)** | **IК(n), о.е.** | **IК(n), кА** | **iУД(n), кА** | **k’’(n)** |
| **К(1)** | 0,112 | 6,183 | 1,552 | 3 | 18,548 | 4,656 | 11,852 | 0,935 |
| **К(2)** | 0,050 | 9,919 | 2,490 | 1,732 | 17,180 | 4,313 | 10,978 | 0,866 |
| **К(1,1)** | 0,028 | 12,822 | 3,219 | 1,502 | 19,261 | 4,835 | 12,308 | 0,971 |

# Заключение

В результате выполнения курсовой работы выполнено следующее:

- рассчитаны сверхпереходные и ударные токи симметричного КЗ на сборных шинах 10/220 кВ ПС;

- построен график IП=f(t) для короткого замыкания на шинах 220 кВ;

- рассчитаны токи симметричного КЗ для выбора оборудования на стороне 0,4 кВ;

- рассчитаны параметры несимметричных КЗ.

Из проделанной работы можно сделать вывод, что из рассчитанных трех видов поперечной несимметрии наиболее опасным является двухфазное КЗ на землю. Однако так как его коэффициент тяжести аварии k’ ’ (1,1)=0,971<1, то расчетным видом КЗ остается симметричное трехфазное КЗ. Именно его параметры должны использоваться при выборе высоковольтного оборудования подстанции 220 кВ.

# Список литературы

1. УЛЬЯНОВ С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М: Энергия, 1970, - 520 с.
2. УЛЬЯНОВ С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. - М: Энергия, 1968, - 495 с.
3. 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.
4. ВОРОБЬЕВ Г.В. Трехфазные короткие замыкания. Методические указания по курсу "Переходные процессы в системах электроснабжения". - Тольятти, 1987, -32 с.
5. ВОРОБЬЕВ Г.В. Трехфазные короткие замыкания в системах электроснабжения. Методические указания по курсу "Переходные процессы в системах электроснабжения ".- Тольятти, 1987, - 34 с.
6. ВОРОБЬЕВ Г.В. Расчет трехфазных коротких замыканий в системах электроснабжения. Методические указания по курсу "Переходные процессы в системах электроснабжения". - Тольятти , 1986, - 20 с.
7. ВОРОБЬЕВ Г.В. Несимметричные короткие замыкания. Методические указания по курсу "Переходные процессы в системах электроснабжения ".- Тольятти, 1986, - 36 с.
8. ВОРОБЬЕВ Г.В. Несимметричные короткие замыкания в системах электроснабжения. Методические указания по курсу "Переходные процессы в системах электроснабжения". - Тольятти, 1986, - 38 с.
9. ВОРОБЬЕВ Г.В. Расчет несимметричных коротких замыканий в системах электроснабжения. Методические указания по курсу "Переходные процессы в системах электроснабжения". - Тольятти, 1986, -23 с.

***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 | 2х150  0,80 |
| 1. Трансформаторы передающей станции  * количество и мощность, МВА * Uк% | 2х100  6,0 |
| 1. Линия ВН  * Uн, кВ * наличие грозозащитного троса в Л1 (в Л2 и Л3 – трос есть всегда) * х0, Ом./км   - длина линии, *l*, км. | 220  нет  0,4  150 |
| 1. Автотрансформаторы  * количество и мощность, МВА * uк% | 3х100  6,0 |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Тип генератора и наличие АРВ | ТГ с АРВ |
| 2. Сопротивления, о. е.   * хd   - хd” | 1,40  0,150 |

**Таблица C**

|  |  |
| --- | --- |
| Мощность к. з. на зажимах приемной системы, МВА | 4000 |
| Момент времени для расчетной кривой t2 | 2,0 |
| Соотношение длин линий *Л1*  Соотношение длин линий *Л2*  Соотношение длин линий *Л3* | *l*1=(1/3)\**l*  *l*2=(1/2)\**l*  *l*3=(1/4)\**l* |
| Точка КЗ в схеме на стороне ВН | К3 |
| Вид обрыва на стороне ВН | L(2) |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Количество и мощность трансформаторов Т2, МВА | 2х40 |
| 2. Напряжения, %   * Uвн * Uвс * Uсн | 10,0  4,0  3,5 |
| 3. Нагрузка на шинах 35 кВ, МВА | 13 |
| 1. Протяженность линии 35 кВ, км  * Воздушные (всего)   Кабельные (всего) | 35  2 |
| 1. Нагрузка на шинах 10 кВ, МВА   а) всего  б) в том числе СД   * Количество и мощность, МВА * хd” | 4х2  0,23 |
| 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 | 2х4  5,5  100  350  0,08  3,80  45  0,08  1,95 |
| 1. Нагрузка на 0,4 кВ   АД мелкие  - РΣ, кВт   * cos ϕ   Обобщенная нагрузка  SΣ, кВA | 1000  0,85  2000 |

***Расчетная схема***

