

**И.П.Крючков, В.А.Старшинов,  
Ю.П.Гусев, М.В.Пираторов**

# **ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

**в электроэнергетических  
системах**

**учебник для вузов**



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	8
<b>Глава первая. Общие сведения об электромагнитных переходных процессах</b> .....	10
1.1. Основные понятия. Причины возникновения электромагнитных переходных процессов .....	10
1.2. Назначение расчетов переходных процессов и предъявляемые к ним требования .....	12
1.3. Основные допущения, принимаемые при исследованиях электромагнитных переходных процессов .....	13
1.4. Параметры элементов расчетных схем, необходимые для расчета электромагнитных переходных процессов .....	14
Контрольные вопросы .....	18
<b>Глава вторая. Составление расчетной схемы и схемы замещения</b> .....	19
2.1. Понятие о расчетной схеме и схеме замещения .....	19
2.2. Системы единиц, используемые при составлении схем замещения .....	20
2.3. Виды схем замещения .....	24
2.4. Составление схем замещения с исключением трансформаторных связей путем приведения параметров всех элементов расчетной схемы к одной ступени напряжения .....	25
2.5. Составление схем замещения с сохранением трансформаторных связей .....	31
2.6. Схемы замещения прямой (обратной) последовательности трансформаторов (автотрансформаторов) .....	32
2.7. Схема замещения сдвоенного токоограничивающего реактора ...	38
2.8. Преобразование схем замещения .....	38
2.9. Примеры решения задач .....	42
Контрольные вопросы .....	51
<b>Глава третья. Переходные процессы в трехфазных электрических цепях, подключенных к источнику синусоидального напряжения</b> .....	52
3.1. Переходный процесс при трехфазном коротком замыкании в цепи без трансформаторов .....	52
3.2. Особенности переходного процесса при трехфазном коротком замыкании в разветвленной цепи .....	59
3.3. Переходный процесс при включении в сеть трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой .....	62

3.4. Переходный процесс при коротком замыкании за трансформатором	66
Контрольные вопросы	69
<b>Глава четвертая. Уравнения электромагнитных переходных процессов в машине переменного тока</b>	71
4.1. Общие положения	71
4.2. Исходные дифференциальные уравнения переходных процессов в синхронной машине	72
4.3. Потокосцепления, собственные индуктивности и взаимные индуктивности обмоток синхронных машин	74
4.4. Линейные преобразования уравнений трехфазной электрической машины. Понятие об изображающем векторе	78
4.5. Линейные преобразования исходных дифференциальных уравнений переходного процесса в синхронной машине к осам ротора	86
4.6. Уравнения переходного процесса в синхронной машине в операторной форме	94
Контрольные вопросы	96
<b>Глава пятая. Расчет начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания от электрических машин и обобщенных нагрузок</b>	97
5.1. Общие замечания	97
5.2. Определение синхронной ЭДС синхронной машины из предшествующего установившегося режима	97
5.3. Определение начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронного генератора без учета влияния демпферных контуров	100
5.4. Определение начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронного генератора с учетом влияния демпферных контуров	106
5.5. Влияние электродвигателей и нагрузок в начальный момент короткого замыкания	112
Контрольные вопросы	114
<b>Глава шестая. Переходные процессы в синхронной машине без учета влияния демпферных контуров</b>	115
6.1. Уравнения переходного процесса в синхронной машине и их корни	115
6.2. Изменение во времени тока якоря синхронной машины при трехфазном коротком замыкании	119
6.3. Влияние форсировки возбуждения на переходный процесс в синхронной машине при коротком замыкании	123

6.4. Переходный процесс в синхронной машине при гашении магнитного поля	130
Контрольные вопросы	135
<b>Глава седьмая. Переходные процессы в синхронной машине с учетом влияния демпферных контуров</b>	137
7.1. Уравнения переходного процесса в синхронной машине и их корни	137
7.2. Переходный процесс в синхронной машине с учетом влияния демпферных контуров при трехфазном коротком замыкании	142
Контрольные вопросы	152
<b>Глава восьмая. Практические методы расчета периодической составляющей тока короткого замыкания</b>	153
8.1. Общие замечания. Определение удаленности точки короткого замыкания от электрической машины	153
8.2. Расчет периодической составляющей тока при удаленных коротких замыканиях	155
8.3. Расчет периодической составляющей тока короткого замыкания методом типовых кривых	158
8.4. Расчет периодической составляющей тока короткого замыкания методом спрямленных характеристик	165
8.5. Примеры решения задач	172
Контрольные вопросы	182
<b>Глава девятая. Особенности расчетов несимметричных режимов трехфазных электрических цепей, обусловленные влиянием синхронных машин</b>	184
9.1. Методы, используемые при расчетах несимметричных режимов	184
9.2. Образование высших гармоник при несимметричных режимах синхронных машин	187
Контрольные вопросы	190
<b>Глава десятая. Параметры различных элементов электроэнергетической системы по отношению к токам обратной и нулевой последовательностей</b>	191
10.1. Общие сведения	191
10.2. Синхронные машины	192
10.3. Асинхронные электродвигатели	198
10.4. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы	199
10.5. Факторы, определяющие полное сопротивление прямой (обратной) и нулевой последовательностей воздушных линий электропередачи	205
10.6. Сопротивление нулевой последовательности однофазной трехфазной воздушной линии электропередачи без заземленных грозозащитных тросов	212

10.7. Сопротивление нулевой последовательности одноцепной трехфазной воздушной линии электропередачи с заземленными грозозащитными тросами	214
10.8. Сопротивление нулевой последовательности двухцепной трехфазной воздушной линии электропередачи без заземленных грозозащитных тросов	219
10.9. Сопротивление нулевой последовательности двухцепной трехфазной воздушной линии электропередачи с заземленными грозозащитными тросами	223
10.10. Сопротивление нулевой последовательности трехжильных кабелей	225
Контрольные вопросы	227
<b>Глава одиннадцатая. Составление схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей для расчета несимметричных режимов</b>	228
11.1. Общие замечания	228
11.2. Схемы замещения прямой и обратной последовательностей	228
11.3. Схемы замещения нулевой последовательности	231
11.4. Схемы замещения различных последовательностей при поперечной и продольной несимметрии в одном и том же месте	234
Контрольные вопросы	238
<b>Глава двенадцатая. Несимметричные короткие замыкания</b>	239
12.1. Исходные положения	239
12.2. Двухфазное короткое замыкание	240
12.3. Однофазное короткое замыкание	243
12.4. Двухфазное короткое замыкание на землю	247
12.5. Влияние и учет переходного сопротивления в месте короткого замыкания	251
12.6. Правило эквивалентности тока прямой последовательности	256
12.7. Расчет переходных процессов при несимметричных коротких замыканиях разными методами	259
12.8. Расчет тока в произвольной ветви и напряжения в произвольном узле при несимметричных коротких замыканиях	268
12.9. Соотношение токов короткого замыкания разных видов при замыканиях в одной и той же точке	272
12.10. Примеры решения задач	274
Контрольные вопросы	285
<b>Глава тринадцатая. Расчет токов и напряжений при продольной несимметрии</b>	287
13.1. Общие замечания	287
13.2. Обрыв одной фазы	289

13.3. Обрыв двух фаз	295
13.4. Включение в одну из фаз элемента, обладающего сопротивлением	299
13.5. Включение в две фазы элементов с одинаковым сопротивлением	303
13.6. Особенности расчета токов и напряжений при однократной продольной несимметрии	307
Контрольные вопросы	310

<b>Глава четырнадцатая. Расчет токов и напряжений при сложных несимметричных повреждениях</b>	311
14.1. Общие замечания	311
14.2. Использование комплексных схем замещения при анализе сложных несимметричных повреждений	312
14.3. Расчет двойных коротких замыканий на землю	318
14.4. Расчет несимметрии при обрыве проводника одной фазы и однофазном коротком замыкании с использованием производной схемы прямой последовательности	327
14.5. Примеры решения задач	334
Контрольные вопросы	345

<b>Глава пятнадцатая. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В</b>	347
15.1. Основные факторы, влияющие на переходный процесс при коротком замыкании	347
15.2. Параметры элементов электроустановок переменного тока, необходимые для расчета переходных процессов	352
15.3. Параметры элементов электроустановок постоянного тока, необходимые для расчета переходных процессов	375
15.4. Электромагнитные переходные процессы в электроустановках с полупроводниковыми преобразователями	387
15.5. Примеры решения задач	392
Контрольные вопросы	395

<b>Список литературы</b>	397
<b>Приложение 1. Определение параметров схем замещения синхронных машин</b>	399
<b>Приложение 2. Определение параметров схемы замещения асинхронных электродвигателей с простой величиной клеткой</b>	409
<b>Приложение 3. Параметры элементов электроустановок переменного тока напряжением до 1000 В</b>	411