

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**РАСЧЕТ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ  
В ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине  
«Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»  
для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и  
электротехника» (профиль «Электроснабжение»)

Курган 2018

Кафедра: «Энергетика и технология металлов».

Дисциплина: «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» (направление 13.03.02).

Составили: канд. тех. наук. В.И. Мошкин, доцент И.И. Копытин, старший преподаватель Д.В. Семакин, ассистент Т.В. Горланова

Составлены на основе переработанных и дополненных методических указаний «Расчеты на персональном компьютере токов симметричных и несимметричных коротких замыканий»: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» для студентов специальности 100400 всех форм обучения / сост. В. Н. Серебряков. – Саратов : Изд-во СГТУ. – 2009. – 32 с.

Утверждены на заседании кафедры «30» августа 2017 г.

Рекомендованы методическим советом университета «12» декабря 2016 г.

## Лабораторная работа 2

### РАСЧЕТ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

*Цель работы:* Освоить методику расчета на ПК тока трехфазного к.з. в заданный момент времени в расчетной схеме любой сложности.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

##### Рабочее задание

Для заданной расчетной схемы (рис. 1, лабораторная работа №1) необходимо выполнить:

- а) с учетом указанного практического метода расчета составить схему замещения для расчета тока трехфазного к.з. в точке ***K*** в момент времени  $t$ ;
- б) рассчитать параметры элементов схемы замещения в именованных единицах, приведенные к основной ступени напряжения, с точностью 4-5 значащих цифр;
- в) набрать схему замещения на ПК;
- г) измерить токи в ветвях источников, нагрузок, в точке ***M*** и в месте к.з.;
- д) измерить напряжения в точках ***M*** и ***K*** и определить их истинные значения (при наличии трансформаторов в расчетной схеме).

Для успешного выполнения задания студент должен знать содержание теоретического материала в следующем объеме:

- 1) метод расчетных кривых [1, §10-4, §10-5];
- 2) метод спрямленных характеристик [1, §10-6; 2, §8-4];
- 3) метод типовых кривых [2, §8-3; 3, с. 62-72].

#### ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Приступая к выполнению работы на ПК, следует предварительно изучить методику работы с программой *Multisim 12.0* на ПК (лабораторная работа №1).

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В расчетах тока трехфазного к.з. в произвольный момент времени используют практические (графоаналитические) методы расчета, а именно: *метод расчетных кривых*, *метод спрямленных характеристик* и *метод типовых кривых*.

Рассмотрим особенности применения каждого практического метода расчета на конкретных примерах.

##### **1 Метод расчетных кривых**

В методе расчета кривых все нагрузки, удаленные от места к.з., должны быть отброшены. При этом влияние нагрузки, непосредственно подключенной к

месту к.з., учитывается отдельно и только для начального момента времени переходного процесса ( $t=0$ ).

Сопротивления источников вводятся в схему замещения своими сверхпереходными значениями.

В этом методе не учитывается различие значений ЭДС источников. Поэтому при моделировании источников значения их ЭДС вводят величиной, равной среднему фазному напряжению основной ступени.

Таким образом, в соответствии с данными примера (рис. 1, лабораторная работа №1) схема замещения с результатами моделирования, набранная на ПК, будет иметь вид (рис. 1).

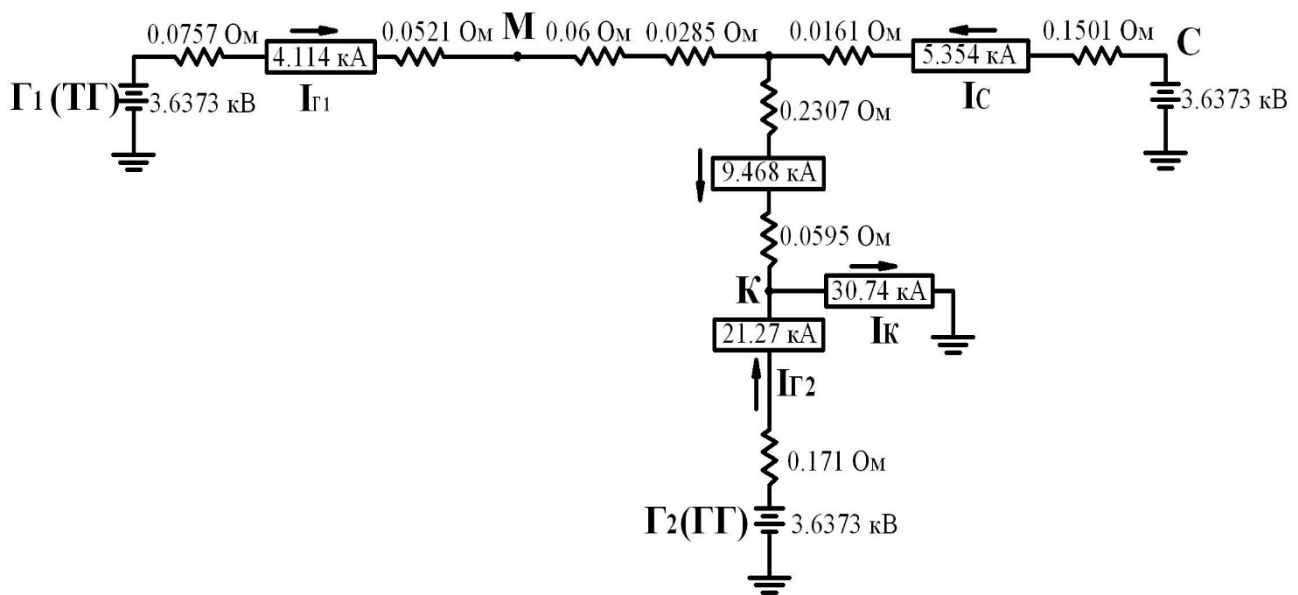


Рисунок 1 – Схема замещения с результатами моделирования при расчете тока трехфазного к.з. методом расчетных кривых (по данным примера на рис. 1, лабораторная работа №1)

Зная значения фазных ЭДС источников и величину тока к.з. в точке  $K$ , определяем результирующее сопротивление прямой последовательности всей схемы  $X_{1\Sigma}^{(3)}$  относительно точки  $K$ :

$$X_{1\Sigma}^{(3)} = \frac{E_{CP}}{I_{K.O}} = \frac{3,6373}{30,74} = 0,1183 \text{ Ом.}$$

При этом коэффициенты токораспределения (долевого участия каждого источника из трёх в общем токе к.з.), будут такими:

$$C_{G1} = \frac{I_{G1}}{I_{K.O}} = \frac{4,114}{30,74} = 0,1338; \quad C_{G2} = \frac{21,27}{30,74} = 0,6919; \quad C_C = \frac{5,354}{30,74} = 0,1741.$$

Определим расчетные относительные сопротивления ветвей генераторов:

$$a) \Gamma_1: X_{\text{РАСЧ.}(\Gamma_1)}^{(3)*} = \frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{C_{G1}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}(\Gamma_1)}}{U_{CP}^2} = \frac{0,1183}{0,1338} \cdot \frac{75}{6,3^2} = 1,6707 \text{ о.е.};$$

$$\text{б) } \Gamma_2: X_{* \text{ РАСЧ.}(\Gamma_2)}^{(3)} = \frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{C_{\Gamma_2}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}(\Gamma_2)}}{U_{\text{СР}}^2} = \frac{0,1183}{0,6919} \cdot \frac{67,3}{6,3^2} = 0,28899 \approx 0,29 \text{ о.е.}$$

Видим, что расчетные реактивные сопротивления генераторов меньше трёх, следовательно, нужно обратиться к графикам расчетных кривых [1] для определения относительных величин токов, посылаемых генераторами к месту к.з. в заданный момент времени  $t$ .

Пусть требуется определить ток трехфазного к.з. в момент времени  $t = 2 \text{ с}$ . Тогда по графику расчетных кривых для турбогенераторов с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) с учетом расчетного реактивного сопротивления

$$X_{\text{РАСЧ}(\Gamma_1)}^{(3)} = 1,6707 \text{ о.е. находим относительный ток генератора } \Gamma_1:$$

$$I_{* \text{ П.т.}\Gamma_1}^{(3)} = 0,65 \text{ о.е.}$$

По графику расчетных кривых для гидрогенераторов с АРВ с учетом реактивного сопротивления  $X_{* \text{ РАСЧ.}(\Gamma_2)}^{(3)} + \Delta X = 0,29 + 0,07 = 0,36 \text{ о.е.}$  находим ток генератора  $\Gamma_2$ :

$$I_{* \text{ П.т.}\Gamma_2}^{(3)} = 2,7 \text{ о.е.}$$

*Примечание.* Увеличение расчетного реактивного сопротивления генератора  $\Gamma_2$  на  $\Delta X = 0,07 \text{ о.е.}$  учитывает влияние демпферных обмоток на роторе.

Определим номинальные токи генераторов, приведенные к основной ступени напряжения схемы замещения (6 кВ):

$$I_{\text{НОМ}(\Gamma_1)}^{\circ} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СР}}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 6,8732 \text{ кА};$$

$$I_{\text{НОМ}(\Gamma_2)}^{\circ} = \frac{67,3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СР}}} = 6,1676 \text{ кА.}$$

## 2 Метод типовых кривых

В методе типовых кривых все нагрузки могут быть отброшены.

Параметры источников (ЭДС и сопротивления) вводятся в схему замещения своими сверхпереходными значениями (для момента времени  $t=0$ ).

В соответствии с данными примера (рисунок 1) схема замещения, набранная на ПК, будет иметь вид (рис. 2). Значения ЭДС генераторов в сверхпереходном режиме (фазные величины), вводимые в схему замещения на основной ступени напряжения, будут равны:

$$E_{\Gamma_1}'' = (1 + I_{* (0)} \cdot X_{* \text{ д}}'' \cdot \sin \varphi_{\text{НОМ}}) \cdot U_{\text{Ф.СР}} = (1 + 1 \cdot 0,143 \cdot 0,527) \cdot 3,6373 = 3,91 \text{ кВ};$$

$$E_{\Gamma_2}'' = (1 + 1 \cdot 0,29 \cdot 0,527) \cdot 3,6373 = 4,1932 \text{ кВ}; E_C = 3,6373 \text{ кВ.}$$

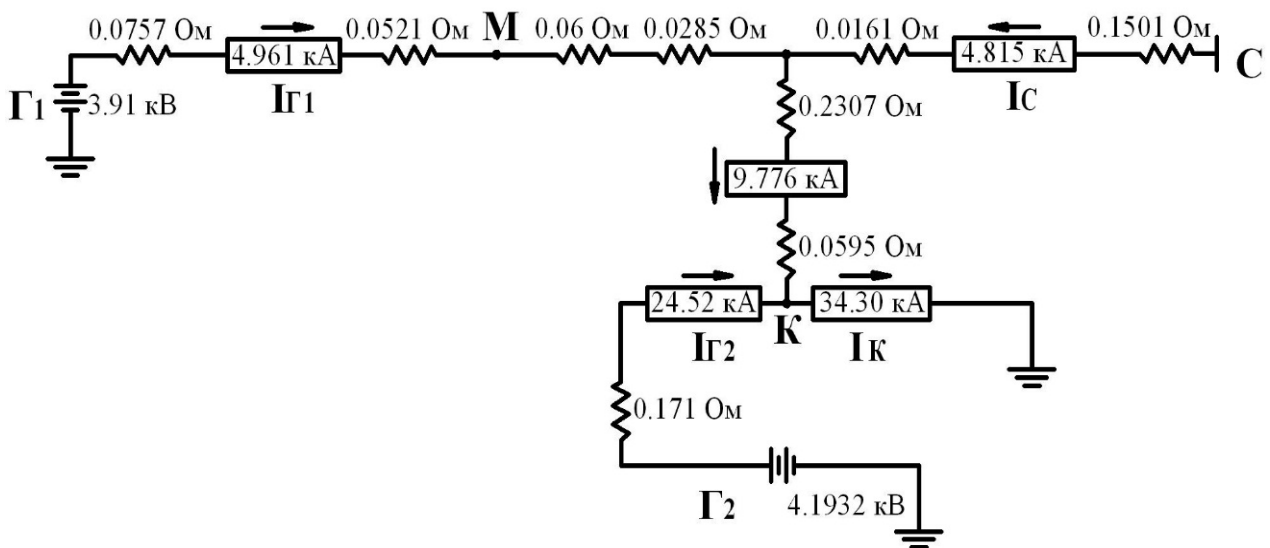


Рисунок 2 – Схема замещения с результатами моделирования при расчете тока трехфазного к.з. в момент времени  $t=2c$  методом типовых кривых (по расчётной схеме, рис. 1, лабораторная работа №1)

Согласно результатам моделирования (рис. 2) видим, что сверхпереходный ток генератора  $\Gamma_1$  оказался меньше его номинального значения. Следовательно, суммарный ток, посылаемый генератором  $\Gamma_1$  и системой С, равный 9,776 кА, не изменяется во времени.

Для генератора  $\Gamma_2$  по удаленности:  $\frac{I_{\text{п.о.}\Gamma_2}}{I_{\text{ном.}\Gamma_2}} = \frac{24,52}{6,1676} = 3,976 \approx 4$  и графикам

типовых кривых [2] определяем степень снижения  $\gamma_\tau$  тока генератора  $\Gamma_2$  к моменту времени  $t=2 c$  при трехфазном к.з.:  $\gamma_\tau=0,7$ .

Таким образом, ток трехфазного к.з. в момент времени  $t=2 c$  будет равен:

$$I_{\text{пт}}^{(3)} = I_{\Gamma_1-С} + I_{\text{пт}\Gamma_2} = 9,776 + 0,7 \cdot 24,52 = 26,94 \text{ кА.}$$

### 3 Метод спрямленных характеристик

В методе спрямленных характеристик все нагрузки вводятся в схему замещения параметрами, соответствующими времени к.з.  $t = \infty$ .

ЭДС и сопротивления источников с АРВ вводятся в схему замещения с учетом предварительно принятого для них режима работы во время установившегося к.з.: режима нормального напряжения (РНН) или режима предельного возбуждения (РПВ).

По условиям примера (рис. 1 лаб. раб. №1) и графикам спрямленных характеристик [2] турбогенераторов с АРВ определяем относительные ЭДС  $E_t$  и реактивное сопротивление  $X_t$  для генератора  $\Gamma_1$  в момент времени к.з.  $t = 2 c$ :

$$E_{*t(\Gamma_1)} = 1,83 \text{ о.е.}; X_{*t(\Gamma_1)} = 0,625 \text{ о.е.}$$

Определяем параметры критического режима  $\Gamma_1$  на основной ступени:

$$X_{\text{кРt}(\Gamma_1)} = \frac{X_{*t(\Gamma_1)} U_{\text{H}}}{E_{*t(\Gamma_1)} - U_{* \text{H}}} \cdot \frac{U_{\text{CP}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{0,625 \cdot 1}{1,83 - 1} \cdot \frac{6,3^2}{75} = 0,3985 \text{ Ом};$$

$$I_{* \text{кРt}(\Gamma_2)} = \frac{3,6373}{0,4681} = 7,7703 \text{ кА}.$$

Так как генератор  $\Gamma_1$  электрически значительно удален от места к.з., то предварительно принимаем для него режим РНН. Для генератора  $\Gamma_2$  принимаем режим РПВ из-за наличия трехфазного к.з. непосредственно на его шинах.

С учетом принятых режимов генераторов составляем схему замещения, приведенную на рис. 3.

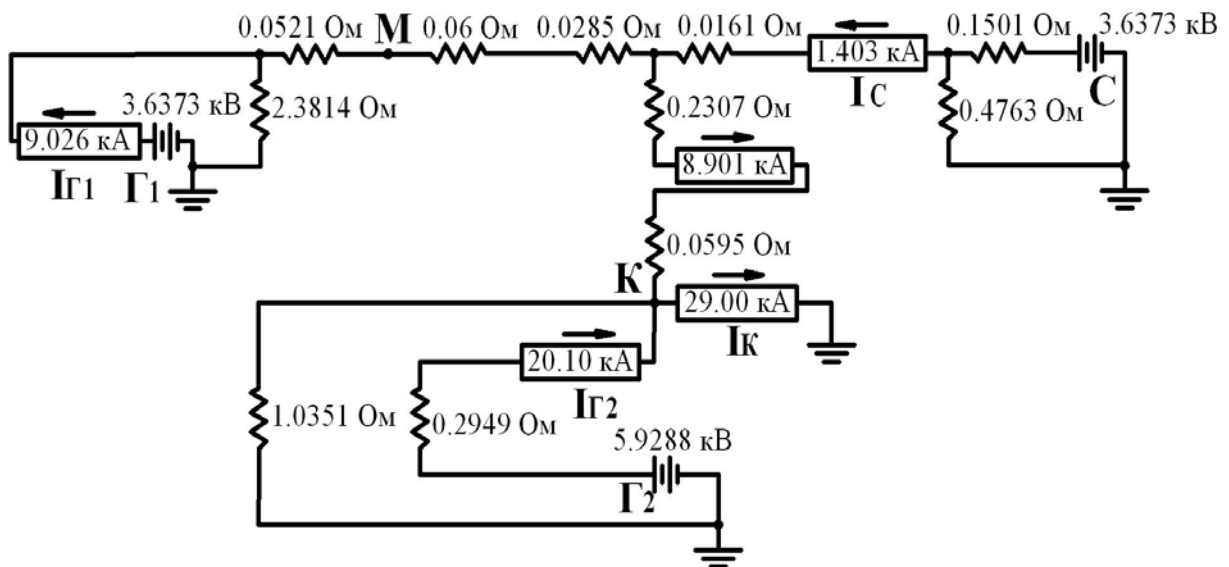


Рисунок 3 – Схема замещения с результатами моделирования при расчете тока трехфазного к.з. в момент времени  $t=2$  с по методу спрямленных характеристик (по данным примера, рис. 1, лабораторная работа №1)

По результатам моделирования (рис. 3) видим, что ток генератора  $\Gamma_1$  будет  $I_{\text{кt}(\Gamma_1)} = 9,026$  кА в режиме трехфазного к.з. в момент времени  $t = 2$  с и этот ток меньше его критического тока  $I_{\text{кРt}} = 9,1275$  кА. Следовательно, генератор  $\Gamma_1$  действительно находится в режиме РНН. Тогда ток трехфазного к.з. в точке К в момент времени  $t = 2$  с будет равен:

$$I_{\text{П.t}}^{(3)} = 29,00 \text{ кА}.$$

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты измерений обрабатываются согласно указаниям, приведенным в методических указаниях к лабораторной работе 1.

## СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) название лабораторной работы;

- 2) формулировку цели работы;
- 3) расчетную схему системы электроснабжения с исходными данными и расчет параметров схемы замещения в именованных единицах;
- 4) схему замещения, набранную на ПК, с учетом заданного метода расчета тока трехфазного к.з.;
- 5) таблицу результатов измерений токов и напряжений в характерных ветвях и узлах схемы замещения;
- 6) проверку правильности принятых режимов генераторов (для метода спрямленных характеристик) и в случае необходимости уточнение результатов расчета тока к.з.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

- 1 Основные положения метода расчетных кривых при расчете тока трехфазного к.з. в заданный момент времени  $t$  с учетом индивидуального влияния каждого источника.
- 2 Основные положения метода типовых кривых при расчете тока трехфазного к.з. в заданный момент времени  $t$  при отсутствии и наличии питающей системы неограниченной мощности.
- 3 Основные положения метода спрямленных характеристик при расчете тока трехфазного к.з. в заданный момент времени  $t$ .
- 4 Как осуществляется проверка правильности принятых режимов генераторов при расчете тока к.з. методом спрямленных характеристик по результатам моделирования на ПК?
- 5 Как определить приближенное значение сопротивления системы, если известна мощность отключения выключателя, установленного на ее шинах?
- 6 Поясните, как определить удаленность генератора  $\Gamma_1$  от места к.з.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970.– 520с.
- 2 Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов/ И. П. Крючков, В. А. Старшинов и др.– М.: МЭИ, 2009.–416с.
- 3 Пособие к курсовому проектированию для электроэнергетических специальностей/ Под ред. В. М. Блок. – М.: Высшая школа, 1980.– 383с.
- 4 Винославский В. Н.и др. Переходные процессы в системах электроснабжения. – Киев: Вища школа, 1989.– 422с.
- 5 Карлащук В. И. , Карлащук С.В. Электронная лаборатория на IBM PC. – М.: Солон-Пресс, 2008.–144с.
- 6 Расчеты на персональном компьютере токов симметричных и несимметричных коротких замыканий. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Переходные процессы в электроэнергетических системах» для студентов специальности 100400 всех форм обучения/ Составил Серебряков В. Н. – Саратов: Изд-во СГТУ. – 2010. – 32с.



Мошкин Владимир Иванович  
Семакин Даниил Владимирович  
Копытин Игорь Иванович  
Горланова Тамара Владимировна

## **РАСЧЕТ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине  
«Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» для  
студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и  
электротехника» (профиль «Электроснабжение»)

Авторская редакция

---

Подписано в печать 05.04.18	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,75	Уч.-изд. л. 0,75
Заказ №71	Э/в	Не для продажи

---

Библиотечно- издательский цент КГУ  
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.