

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

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**РАСЧЕТ ТОКА НЕСИММЕТРИЧНОГО К. З.  
В ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ ПРИ ОДНОКРАТНОЙ  
ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы № 4 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» (направления 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 курсу «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 201 г.

Рекомендованы методическим советом университета «12 » декабря 2016 г.

## **Лабораторная работа №4**

### **РАСЧЕТ ТОКА НЕСИММЕТРИЧНОГО К. З.**

### **В ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ ПРИ ОДНОКРАТНОЙ**

### **ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ**

*Цель работы:* освоить методику расчета токов и напряжений в заданный момент времени  $t$  при несимметричном к.з. в расчетной схеме любой сложности.

#### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

##### **Рабочее задание**

Для заданной расчетной схемы следует выполнить:

а) с учетом заданного практического метода расчета составить эскиз комплексной схемы замещения для расчета тока несимметричного к.з. в точке  $K$  для момента времени  $t$ ;

б) определить параметры элементов схемы замещения прямой последовательности в именованных единицах для момента времени  $t$ , приведенные к основной ступени напряжения;

в) определить сопротивления элементов схем замещения обратной и нулевой последовательностей в именованных единицах, привести их к основной ступени напряжения;

г) набрать комплексную схему замещения на ПК;

д) рассчитать в месте к.з. и в заданной точке  $M$  токи и напряжения фаз для момента времени  $t$  при несимметричном к.з. в точке  $K$ ;

е) построить векторные диаграммы фазных токов и напряжений в месте к.з. и в заданной точке  $M$  для момента времени  $t$  при несимметричном к.з. в точке  $K$ .

Для успешного выполнения задания студент обязан знать теоретический материал в [1–32] 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];

4) метод симметричных составляющих [1, §11-3];

5) параметры элементов для токов обратной и нулевой последовательностей [1, §§10-1÷12-8; 2, гл.10];

6) схемы замещения отдельных последовательностей [1, §§13-1÷13-5; 2, гл.11];

7) анализ отдельных видов к.з. при однократной поперечной несимметрии [1, §§14-1÷14-9; 2, гл.12];

8) применение практических методов к расчету переходного процесса при однократной поперечной несимметрии [1, §14-11; 2, §12-7].

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Рассмотрим порядок применения практических методов к расчету переходного процесса при однократной поперечной несимметрии.

### 1 Метод расчетных кривых

В этом случае расчетное реактивное сопротивление генераторов определяется по формуле:

$$X_{* \text{ РАСЧ}(t)}^{(n)} = \frac{X_{1\Sigma} + \Delta X^{(n)}}{C_{Г1}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ}Г}}{U_{\text{CP}}^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta X^{(n)}$  - дополнительное сопротивление, определяемое видом несимметричного к.з.:  $\Delta X^{(3)} = 0$ ;  $\Delta X^{(1)} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$ ;  $\Delta X^{(2)} = X_{2\Sigma}$ ;  $\Delta X^{(1,1)} = X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma}$ .

Для условий примера (рисунок 1) искомые сопротивления при однофазном к.з. в точке  $K$  будут равны:

$$\Delta X^{(1)} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma} = 0,0948 + 0,207 = 0,3018 \text{ Ом};$$

$$X_{* \text{ РАСЧ}(1)}^{(1)} = \frac{0,1183 + 0,3018}{0,1338} \cdot \frac{75}{6,3^2} = 5,933 \text{ о.е.} > 3;$$

$$X_{* \text{ РАСЧ}(2)}^{(1)} = \frac{0,1183 + 0,3018}{0,6919} \cdot \frac{67,3}{6,3^2} = 1,0295 \text{ о.е.}$$

Определим относительную величину тока прямой последовательности генераторов для заданного момента времени к.з. ( $t=2$  с):

$$\text{для генератора } Г_1: X_{* \text{ ИПП}tГ}^{(1)} = \frac{U_{\text{НОМ}*}}{X_{\text{РАСЧ}(Г1)}^{(1)}} = \frac{1}{5,933} = 0,1685 \text{ о.е.};$$

для генератора  $Г_2$ :  $X_{* \text{ ИПП}tГ}^{(1)} = 1,03$  о.е. – находим по расчетным кривым для гидрогенераторов (с учетом увеличения  $X_{* \text{ РАСЧ}(2)}^{(1)}$  до значений  $1,0295 + 0,07 = 1,0995$  о.е.).

Составляем комплексную систему замещения, приведенную на рис. 1.

Таким образом, искомый ток однофазного к.з. в точке  $K$  в момент  $t = 2$  с будет равен:

$$\begin{aligned} I_{\text{П}t}^{(1)} &= m^{(1)} \cdot (I_{* \text{ П}tГ1}^{(1)} \cdot I_{\text{НОМ}(Г1)} + I_{* \text{ П}tГ2}^{(1)} \cdot I_{\text{НОМ}(Г2)} + I_{* \text{ П}tC}^{(1)}) = \\ &= 3 \cdot (0,1685 \cdot 6,8732 + 1,03 \cdot 6,1676 + 1,508) = 27,056 \text{ кА}. \end{aligned}$$

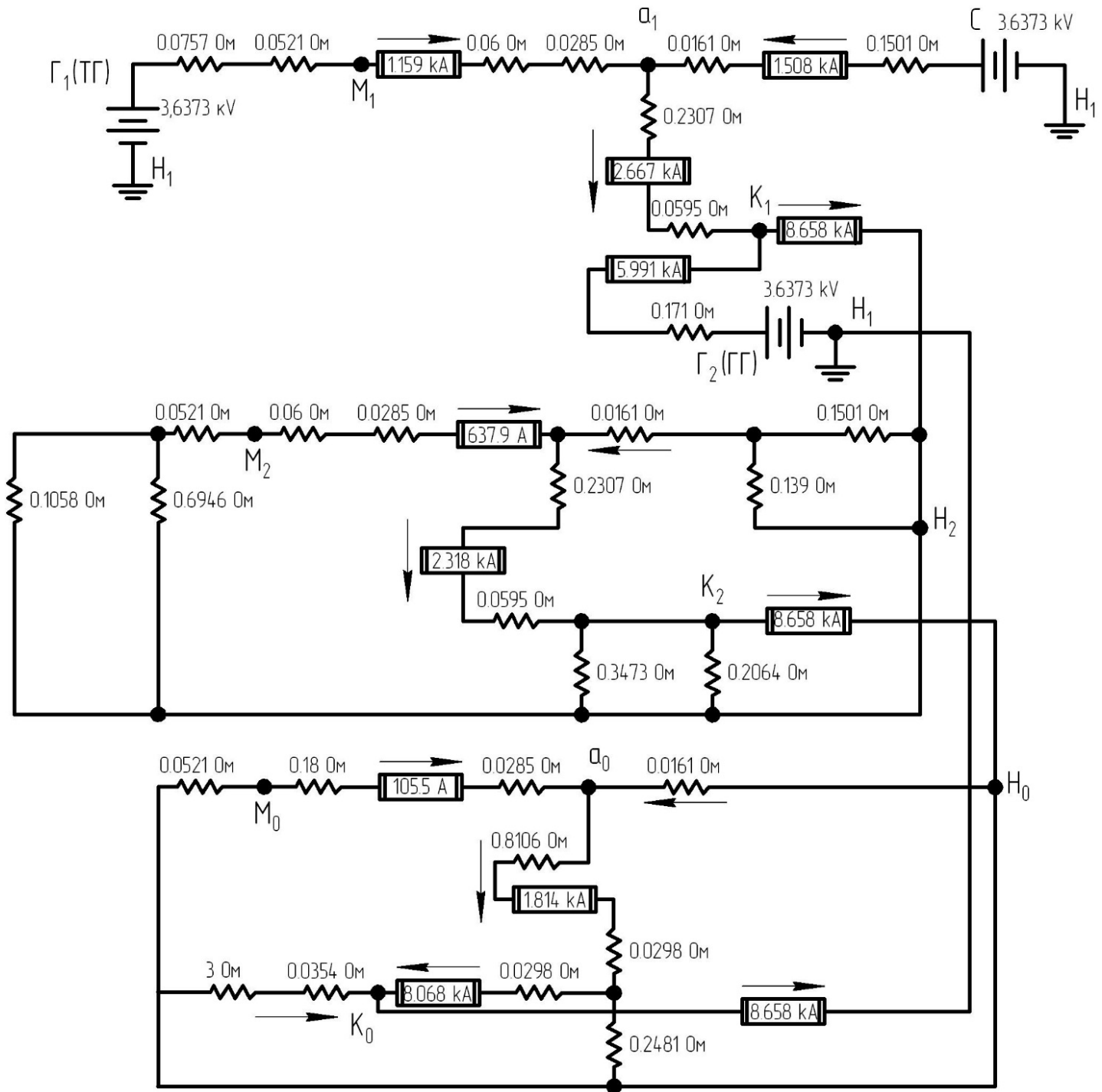


Рисунок 1 – Комплексная схема замещения для определения коэффициентов токораспределения  $C_i$  токов  $I_{A1}^{(1)}$ ,  $I_{A2}^{(1)}$  и  $I_{A0}^{(1)}$  по ветвям схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательности при однофазном к.з. в точке К (по данным примера рис. 1, лабораторной работы №1)

Заметим, что непосредственное использование результатов моделирования по рис.1 не дает правильного результата из-за наличия зависимости тока генератора  $\Gamma_2$  от времени. Поэтому определение фазных и напряжений в месте к.з. и в любой точке сети осуществляется расчетным путем.

Покажем пример такого расчета для расчетной схемы, приведенной на рис. 1, при однофазном к.з. на землю в точке  $K$  в момент времени  $t = 2$  с.

Для этого используем соотношения между симметричными составляющими токов и напряжений фазы  $A$  при однофазном к.з. в месте аварии [1]:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{A1}^{(1)} = \dot{i}_{A2}^{(1)} = \dot{i}_{A0}^{(1)} &= \frac{27,056}{3} = 9,0187 \text{ кА}; \quad \dot{U}_{1K}^{(1)} = -(\dot{U}_{2K}^{(1)} + \dot{U}_{0K}^{(1)}); \\ \dot{U}_{2K}^{(1)} &= -j \cdot \dot{i}_{1K}^{(1)} \cdot X_{2\Sigma}; \quad \dot{U}_{0K}^{(1)} = -j \cdot \dot{i}_{1K}^{(1)} \cdot X_{0\Sigma}. \end{aligned} \quad (2)$$

При этом напряжение обратной, нулевой и прямой последовательностей фазы  $A$  в месте к.з. будут равны:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{2K}^{(1)} &= -j \cdot \dot{i}_{A1}^{(1)} \cdot X_{2\Sigma} = -j \cdot 9,0187 \cdot 0,0948 = -j \cdot 0,855 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{0K}^{(1)} &= -j \cdot \dot{i}_{A1}^{(1)} \cdot X_{0\Sigma} = -j \cdot 9,0187 \cdot 0,207 = -j \cdot 1,8669 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{1K}^{(1)} &= -(\dot{U}_{2K}^{(1)} + \dot{U}_{0K}^{(1)}) = -j \cdot (0,855 + 1,8669) = -j \cdot 2,7219 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Рассчитаем токи и напряжения фаз в месте к.з.:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{\text{п.т.А}}^{(1)} = m^{(1)} \cdot \dot{i}_{A1}^{(1)} &= 3 \cdot 9,0187 = 27,056 \text{ кА}; \quad \dot{i}_{\text{п.т.В}}^{(1)} = 0 \text{ кА}; \quad \dot{i}_{\text{п.т.С}}^{(1)} = 0 \text{ кА}; \\ \dot{U}_{K(A)}^{(1)} = \dot{U}_{1K}^{(1)} + \dot{U}_{2K}^{(1)} + \dot{U}_{0K}^{(1)} &= j \cdot 2,599 - j0,8164 - j1,7826 = 0 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{K(B)}^{(1)} = a^2 \cdot \dot{U}_k + a \cdot \dot{U}_{2k} + \dot{U}_{0k} &= \\ = e^{j240^\circ} \cdot j2,7219 + e^{j120^\circ} \cdot (-j0,855) - j1,8669 &= 4,17e^{-j42,11^\circ} \text{ кВ}; \end{aligned}$$

$$\dot{U}_{K(C)}^{(1)} = a \cdot \dot{U}_k + a^2 \cdot \dot{U}_{2k} + \dot{U}_{0k} = e^{j120^\circ} \cdot j2,7219 + e^{j240^\circ} \cdot (-j0,855) - j1,8669 = 4,17e^{j222,11^\circ} \text{ кВ}.$$

Находим фазные токи и напряжения в точке  $M$ , используя комплексную схему замещения, приведенную на рис. 1, для определения коэффициентов токораспределения  $C_i$  по ветвям схемы токов последовательностей  $I_{A1}^{(1)}$ ,  $I_{A2}^{(1)}$  и  $I_{A0}^{(1)}$ . Токи  $I_{1M}^{(1)}$ ,  $I_{2M}^{(1)}$ ,  $I_{0M}^{(1)}$  для момента времени  $t = 2$  с на стороне 6 кВ будут равны:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{1M}^{(1)} &= \dot{i}_{1K}^{(1)} \cdot C_{M1-a1} = 9,0187 \cdot 1,159 / 8,658 = 1,2073 \text{ кА}; \\ \dot{i}_{2M}^{(1)} &= 9,0187 \cdot 0,6379 / 8,658 = 0,6645 \text{ кА}; \\ \dot{i}_{0M}^{(1)} &= 9,0187 \cdot 0,1055 / 8,658 = 0,1099 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Определим напряжения  $\dot{U}_{1M}^{(1)}$ ,  $\dot{U}_{2M}^{(1)}$ ,  $\dot{U}_{0M}^{(1)}$  на основной ступени напряжения, учитывая падения напряжения по пути от точки  $M$  до точки нулевого потенциала в соответствующей схеме замещения.

$$\begin{aligned} \dot{U}_{1M}^{(1)} &= \dot{U}_{\text{ф.ср}} - \dot{i}_{1M}^{(1)} \cdot jX_{H1-M1} = j3,6373 - 1,2073 \cdot j(0,0757 + 0,0521) = j3,483 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{2M}^{(1)} &= \dot{i}_{2M}^{(1)} \cdot j \cdot X_{H2-M2} = -0,6645 \cdot j(0,0521 + 0,1058 \cdot 0,6946 / (0,1058 + 0,6946)) = -j0,0956 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{0M}^{(1)} &= -\dot{i}_{0M}^{(1)} \cdot jX_{H0-M0} = -j0,1099 \cdot j0,0521 = -j0,0057 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Рассчитаем значения симметричных составляющих токов и напряжений на стороне 110кВ:

$$\begin{aligned} \dot{i}_{1M(110)}^{(1)} &= \dot{i}_{1M}^{(1)} \cdot (1 / K_T) = 1,2073 \cdot (6,3 / 115) = 66,139 \text{ А}; \\ \dot{i}_{2M(110)}^{(1)} &= 0,6645 \cdot (6,3 / 115) = 36,403 \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0M(110)}^{(1)} &= 0,1099 \cdot (6,3/115) = 6,021 \text{ А}; \\ \dot{U}_{1M(110)}^{(1)} &= \dot{U}_{1M}^{(1)} \cdot K_T = j3,483 \cdot (115/6,3) = j63,5786 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{2M(110)}^{(1)} &= -j0,0956 \cdot (115/6,3) = -j1,7487 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{0M(110)}^{(1)} &= -j0,0957 \cdot (115/6,3) = -j0,104 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Далее по значениям симметричных составляющих токов и напряжений в точках  $K$  и  $M$  рассчитывают фазные величины токов и напряжений по формулам или находят их значения путем построения векторных диаграмм.

## **2 Метод типовых кривых**

При использовании этого метода составляют комплексную схему замещения, содержащую схему прямой последовательности с параметрами сверхпереходного режима (рис. 2).

Видим, что сверхпереходный ток прямой последовательности генератора  $\Gamma_2$  оказался больше его номинального тока, а генератора  $\Gamma_1$  – меньше.

По типовым кривым для момента времени  $t=2$  с определяем ток прямой последовательности генератора  $\Gamma_2$ :

$$\begin{aligned} I_{1(\Gamma)} / I_{\text{НОМ}(\Gamma_2)} &= 7,473/6,1676 = 1,21; \quad \gamma_t = 1,07; \\ I_{1(\Gamma)}^{(1)} &= \gamma_t \cdot I_{1(\Gamma)}^{\text{н}^{(1)}} = 1,07 \cdot 7,473 = 7,996 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Таким образом, ток прямой последовательности для заданного момента времени  $t = 2$  с и ток однофазного к.з. в точке  $K$  будут соответственно равны:  $I_{AII.t}^{(1)} = 7,996 + 2,188 = 10,184$  кА.  $I_{II.t}^{(1)} = 3 \cdot 10,184 = 30,552$  кА.

Расчет фазных токов и напряжений в точках  $K$  и  $M$  производится по методике, изложенной выше.

## **3 Метод спрямленных характеристик**

Полагая, что при однофазном к.з. в точке  $K$  в момент времени  $t = 2$  с генератор  $\Gamma_2$  работает в режиме РПВ, а генератор  $\Gamma_1$  – в режиме РНН, составляем комплексную схему замещения, приведенную на рис. 3.

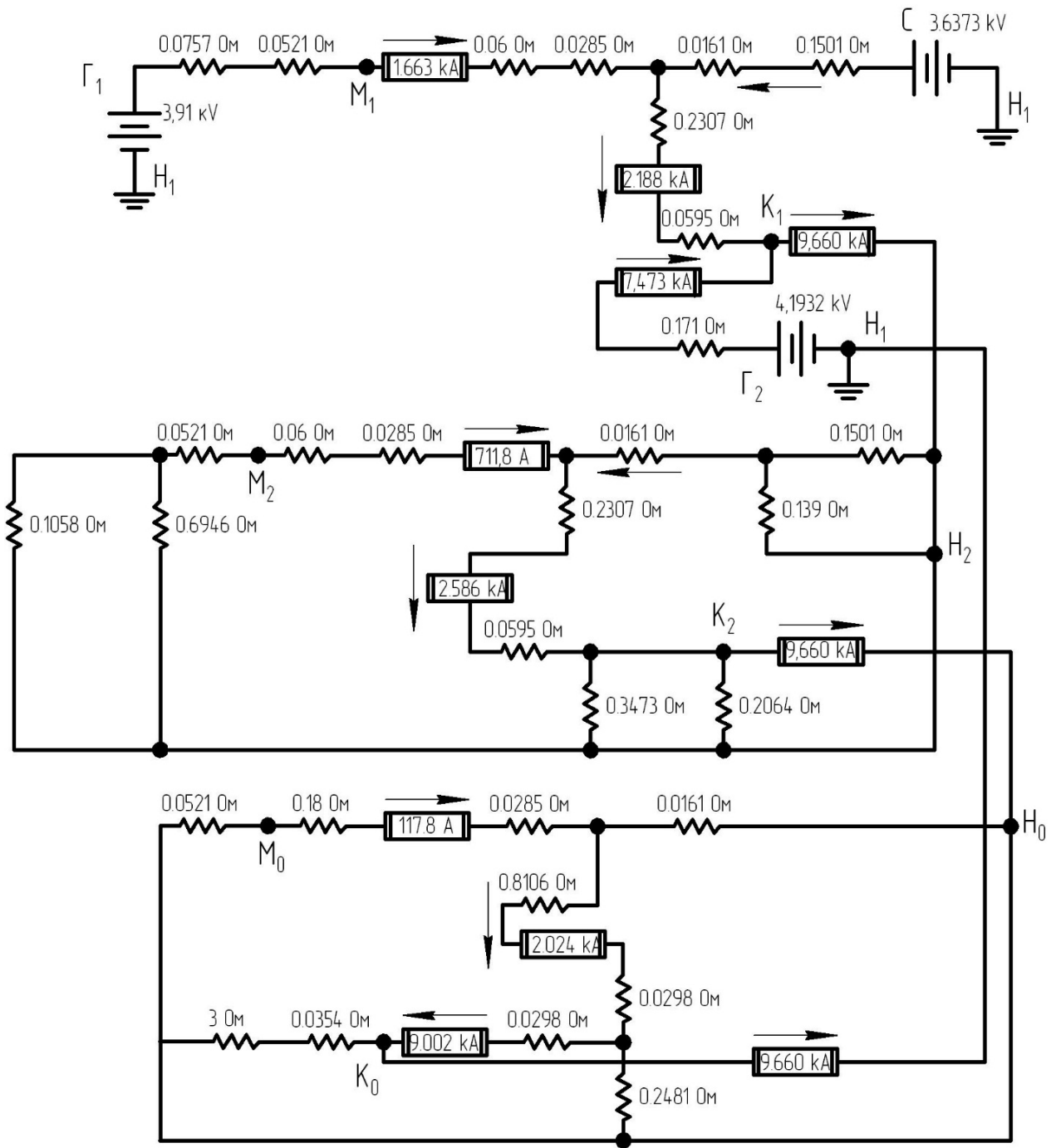


Рисунок 2 – Комплексная схема замещения с результатами моделирования к расчету однофазного к.з. в момент времени  $t = 2 \text{ с}$  в точке К методом типовых кривых (по данным примера рис.1, лабораторной работы №1)



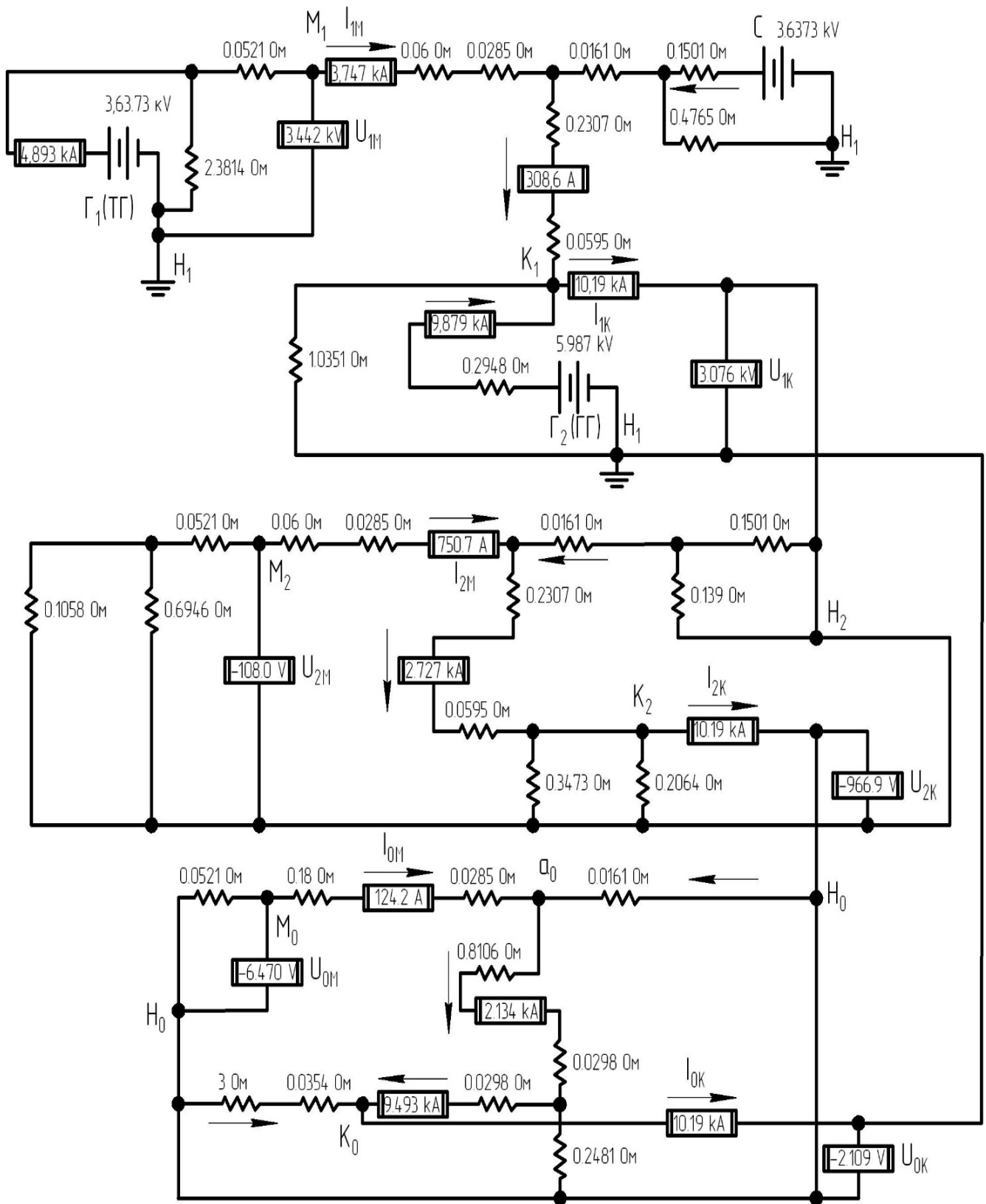


Рисунок 3 – Комплексная схема замещения с результатами моделирования к расчету однофазного к.з. на землю  $K$  методом спрямлённых характеристик (по данным примера рис. 1)

Из результатов измерений следует, что в момент времени  $t = 2$  с при однофазном к.з. в точке  $K$  генератор  $\Gamma_1$  находится в режиме РНН ( $I_{1(\Gamma_1)} < I_{KP(\Gamma_1)} = 9,12$  кА), а генератор  $\Gamma_2$  – в режиме РПВ ( $I_{1(\Gamma_2)} > I_{KP(\Gamma_1)} = 7,77$  кА).

Следовательно, искомый ток однофазного к.з. будет равен:

$$I_{\text{Ит}}^{(1)} = m^{(1)} \cdot I_{\text{АИт}}^{(1)} = 3 \cdot 10,19 = 30,57 \text{ кА.}$$

Видим, что комплексная схема замещения на рис. 3 к расчету однофазного к.з. в момент времени  $t = 2$  с содержит все данные, необходимые для нахождения фазных значений токов и напряжений в точках  $K$  и  $M$  расчетным путем или путем построения векторных диаграмм.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты эксперимента обрабатываются согласно указаниям, приведенным в лабораторной работе данных методических указаний.

## СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) название лабораторной работы;
- 2) формулировку цели работы;
- 3) расчетную схему электрической системы;
- 4) расчет сопротивлений комплексной схемы замещения для заданного момента времени несимметричного к.з. с учетом принятого практического метода расчета;
- 5) комплексную схему замещения для расчета несимметричного к.з. с результатами моделирования на ПК;
- 6) расчет симметричных составляющих токов и напряжений в точках  $K$  и  $M$  для заданного момента времени  $t$ ;
- 7) расчет фазных токов, напряжений в точках  $K$  и  $M$  и их векторные диаграммы для заданного момента времени  $t$ ;
- 8) выводы по работе.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1 Порядок составления комплексной схемы замещения в зависимости от вида несимметричного к.з. и принятого практического метода расчета.
- 2 Порядок определения симметричных составляющих токов и напряжений в заданных точках расчетной схемы.
- 3 Порядок определения фазных токов и напряжений в заданных точках расчетной схемы.
- 4 Порядок построения векторных диаграмм фазных токов и напряжений по данным моделирования и расчетов.
- 5 Поясните, как находится дополнительное сопротивление  $\Delta X^{(n)}$  для каждого из видов несимметричного 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 НЕСИММЕТРИЧНОГО К. З.  
В ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ ПРИ ОДНОКРАТНОЙ  
ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы №4 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 №73	Э/в	Не для продажи

---

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