

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 НАЧАЛЬНЫЙ
МОМЕНТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ
ОДНОКРАТНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №3 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 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 2017 г.

Рекомендованы методическим советом университета «12» декабря 2016 г.

Лабораторная работа №3

РАСЧЕТ ТОКА НЕСИММЕТРИЧНОГО К. З. В НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ

Цель работы: освоить методику расчета с помощью ПК фазных токов и напряжений при несимметричном к.з. в начальный момент времени ($t=0$) в расчетной схеме любой сложности.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Рабочее задание

Для заданной расчетной схемы необходимо выполнить:

- а) составить комплексную схему замещения для расчета тока несимметричного к.з. в начальный момент времени в заданной точке K ;
- б) рассчитать параметры элементов схем замещения прямой, обратной, а при замыкании на землю, – и нулевой последовательностей в именованных единицах; привести эти параметры к основной ступени напряжения;
- в) набрать комплексную схему замещения на ПК;
- г) измерить токи прямой, обратной, а при замыкании на землю и нулевой последовательной фазы A в комплексной схеме замещения;
- д) в месте к.з. измерить напряжения прямой, обратной, а при замыкании на землю и нулевой последовательностей фазы A ;
- е) в заданной точке M измерить токи и напряжения прямой, обратной, а при замыкании на землю и нулевой последовательностей фазы A ;
- ж) рассчитать в месте к.з. токи и напряжения фаз для начального момента времени при несимметричном к.з. в точке K ;
- з) рассчитать в точке M токи и напряжения фаз для начального момента времени при несимметричном к.з. в точке K ;
- и) по результатам измерений и расчета построить векторные диаграммы фазных токов и напряжений в точках K и M в начальный момент времени при несимметричном к.з. в точке K ;
- к) рассчитать полную мощность несимметричного к.з. для начального момента времени переходного процесса;
- л) дать оценку влияния удаленности точки M относительно места к.з. на параметры режима по току и напряжению в этой точке при несимметричном к.з. в точке K .

Для успешного выполнения задания студент должен знать содержание теоретического материала [1] в следующем объеме:

- 1) метод симметричных составляющих [§11-3];
- 2) параметры элементов для токов обратной и нулевой последовательностей [§§12-1÷12-8];
- 3) схемы замещения отдельных последовательностей [§§13-1÷13-5];

4) анализ отдельных видов к.з. при однократной поперечной несимметрии [§§14-1÷14-9].

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Расчет фазных токов и напряжений в заданной точке электрической системы при несимметричном к.з. наиболее просто можно выполнить, используя метод симметричных составляющих.

При использовании расчетных столов постоянного и переменного тока или ПК для этой цепи удобно применять комплексные схемы замещения исследуемой системы для рассматриваемого вида к.з.

В этом случае схемы замещения электрической системы для отдельных последовательностей объединяются в одну комплексную схему замещения в зависимости от вида несимметричного к.з. (см. рисунок 1).

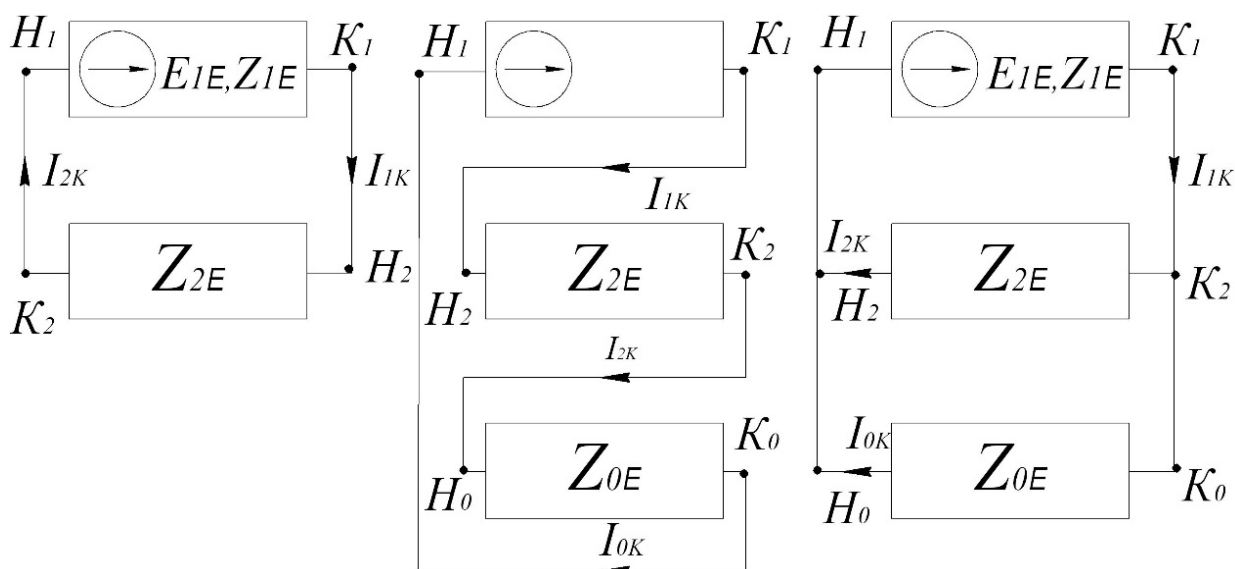
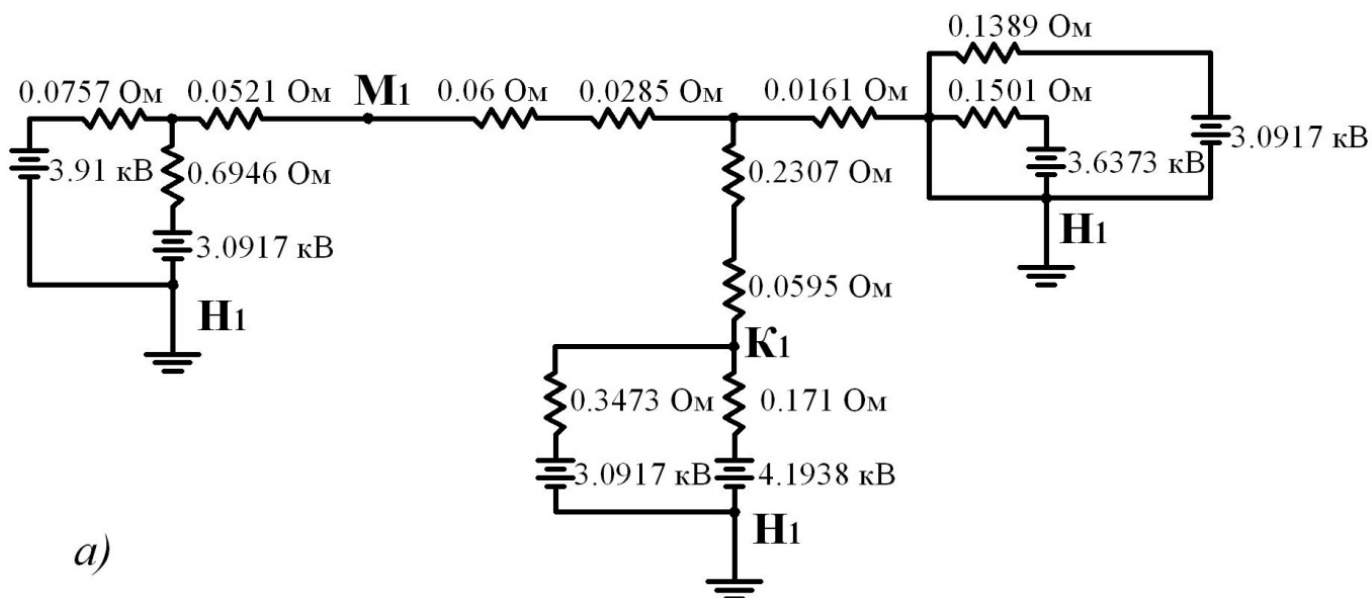


Рисунок 1 – Структура комплексных схем замещения в зависимости от вида к.з.

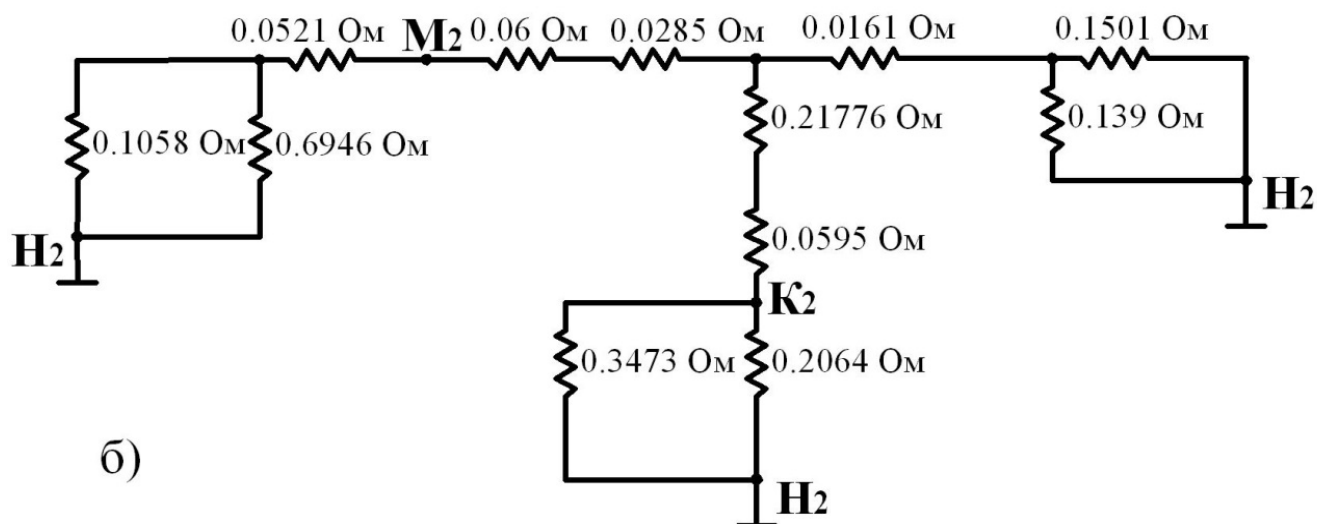
а – для двухфазного к.з.; б – для однофазного к.з.;

в – для двухфазного к.з. на землю

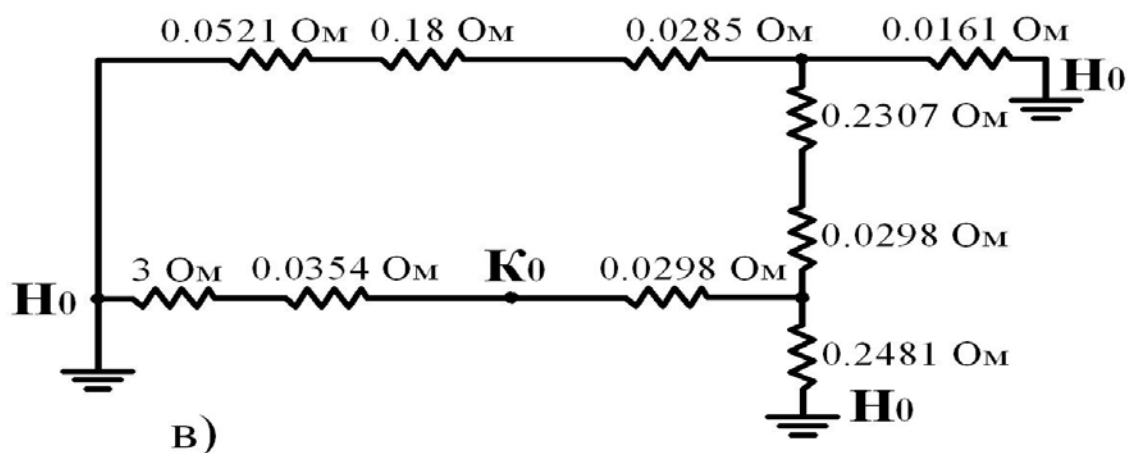
В качестве примера на рисунке 2 приведены схемы замещения для начального момента времени к.з. ($t=0$), набираемые на ПК: прямой (а), обратной (б) и нулевой (в) последовательностей электрической системы при однофазном к.з. на землю в точке K , а на рисунке 4 – комплексная схема замещения (по данным примера на рис. 1, лабораторной работы №1).



a)



б)



в)

Рисунок 2 – Схемы замещения при однофазном к.з. в точке K в начальный момент времени переходного процесса (по данным примера, рис. 1 лабораторной работы №1). а – прямой последовательности; б – обратной последовательности; в – нулевой последовательности

При составлении схем замещения отдельных последовательностей нужно учитывать следующее:

а) *схема замещения прямой последовательности* является обычной схемой, которую составляют для расчета симметричного режима. В зависимости от рассматриваемого момента времени t и принятого практического метода расчета генераторы, двигатели и нагрузки вводятся в схему замещения своими соответствующими сопротивлениями и ЭДС. Все элементы схемы замещения снабжаются индексом «1»;

б) *схема замещения обратной последовательности* по конфигурации близка схеме прямой последовательности. Отличие состоит в том, что она не содержит ЭДС источников питания, имеет соответствующие параметры для вращающихся машин и в общем случае содержит сопротивления нагрузок. Элементы схемы замещения снабжаются индексом «2». В схеме зачастую не учитывают нагрузки, если их мощности на порядок и более меньше мощностей источников;

в) конфигурация схемы замещения нулевой последовательности определяется возможными путями растекания токов нулевой последовательности, зависит также от группы соединения обмоток трансформаторов (автотрансформаторов); построение схемы замещения нулевой последовательности следует начинать, двигаясь от точки к.з. Все элементы схемы замещения снабжаются индексом «0». Следует помнить, что элементы (реакторы, резисторы), включенные в нейтраль трансформаторов (генераторов), вводятся в схему замещения утроенной величиной сопротивления.

Определение тока несимметричного к.з. вида n производят по выражению:

$$I_{II,0}^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_{A1}^{(n)}, \quad (1)$$

где $m^{(n)}$ – постоянный множитель (модуль), зависящий от вида к.з.:

$$m^{(3)} = 1; m^{(2)} = \sqrt{3}; m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma} / (X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma})^2}; \quad (2)$$

$I_{A1}^{(n)}$ – ток прямой последовательности фазы A при к.з. вида n .

Таким образом, начальный ток однофазного к.з. на землю в точке K для условий примера (рис. 1, лабораторной работы №1) будет равен:

$$I_{II,0}^{(1)} = m^{(1)} \cdot I_{A1}^{n(1)} = 3 \cdot 9,54 = 28,962 \text{ кА.}$$

Если не учитывать активные сопротивления элементов расчетной схемы, то векторы симметричных составляющих токов и напряжений фазы A (особая фаза) в месте к.з. расположены по одной оси (для токов – по действительной оси, а для напряжений – по мнимой). Тогда зная в месте к.з. модули симметричных составляющих токов и напряжений фазы A , можно определить токи и напряжения других фаз путем построения векторных диаграмм.

На рисунках 3 и 5 приведены примеры такого построения для токов и напряжений в месте к.з. при однофазном коротком замыкании.

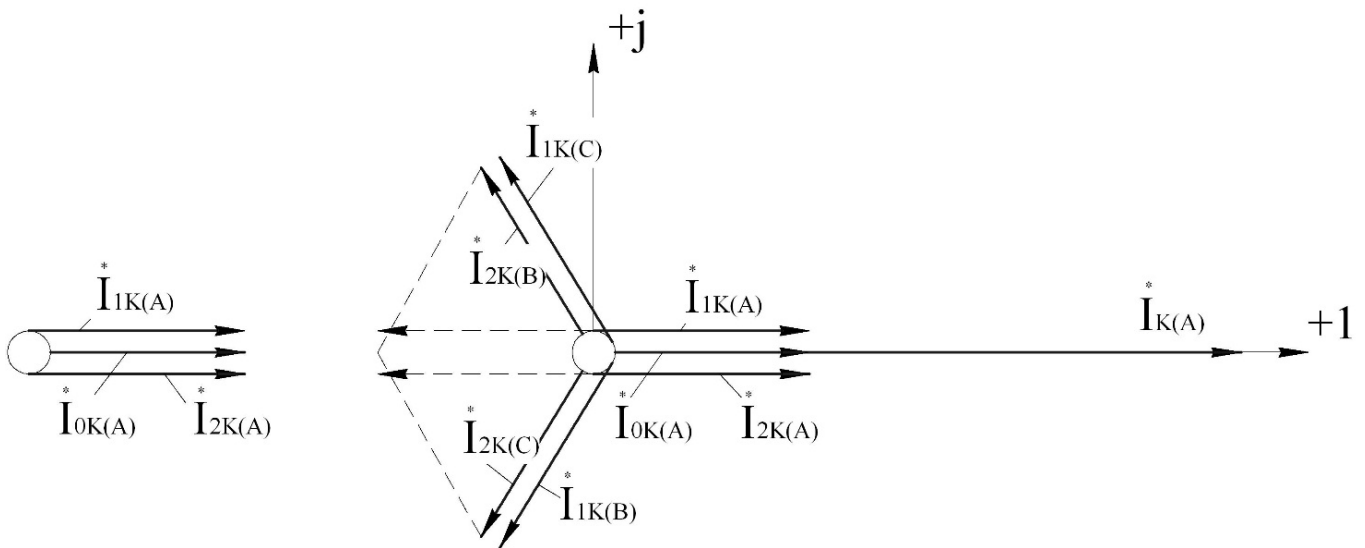


Рисунок 3 – Пример построения векторной диаграммы фазных токов в месте к.з. при однофазном коротком замыкании

При аналитическом расчете по методу симметричных составляющих токи и напряжения фаз определяют по известным выражениям:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}; \quad \dot{I}_B = a^2 \cdot \dot{I}_{A1} + a \cdot \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}; \quad \dot{I}_C = a \cdot \dot{I}_{A1} + a^2 \cdot \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}; \quad a = e^{j120^\circ}; \\ \dot{U}_A &= \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \quad \dot{U}_B = a^2 \cdot \dot{U}_{A1} + a \cdot \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \quad \dot{U}_C = a \cdot \dot{U}_{A1} + a^2 \cdot \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}. \end{aligned} \quad (3)$$

Симметричные составляющие напряжения фазы А в точке М будем определять расчетным путем, двигаясь от точки к.з., с учетом следующего:

1) в схеме замещения прямой последовательности потенциалы увеличиваются по абсолютной величине по мере приближения к источникам, навстречу току, а в схемах замещения обратной и нулевой последовательностей потенциалы соответственно снижаются;

2) при переходе через трансформаторы по пути от места к.з. к заданной точке М, учитываются угловые сдвиги составляющих векторов токов и напряжений прямой и обратной последовательностей (трансформация симметричных составляющих). Так, при переходе через трансформатор со стороны треугольника на сторону звезды, обмотки которого соединены по схеме и группе Y/Δ-11, векторы прямой последовательности поворачиваются на угол -30° (в сторону отставания, т.е. вращения по часовой стрелке), а векторы обратной последовательности – на угол $+30^\circ$ в обратном направлении (в сторону опережения по фазе) [1, гл. 13, §5].

Рассчитаем по данным измерений (см. рисунок 4) напряжения и токи фаз в точках К и М в начальный момент времени однофазного к.з. в точке К по формулам (3):

$$\begin{aligned} \dot{U}_{K(A)}^{(1)} &= \dot{U}_{1K} + \dot{U}_{1K} + \dot{U}_{0K} = j2,913 - j0,9198 - j1,998 = 0 \text{ кВ}; \\ \dot{U}_{K(B)}^{(1)} &= a^2 \cdot \dot{U}_{1k} + a \cdot \dot{U}_{1k} + \dot{U}_{0k} = e^{j240^\circ} \cdot j2,913 + \\ &+ e^{j120^\circ} \cdot (-j0,9152) - j0,9198 - j1,998 = 4,47e^{-j42,11^\circ} \text{ кВ} \\ \dot{U}_{K(C)}^{(1)} &= a^2 \cdot \dot{U}_{1k} + a \cdot \dot{U}_{1k} + \dot{U}_{0k} = e^{j120^\circ} \cdot j2,913 + \\ &+ e^{j240^\circ} \cdot (-j0,9152) - j0,9198 - j1,998 = 4,47e^{-j222,11^\circ} \text{ кВ} \end{aligned}$$

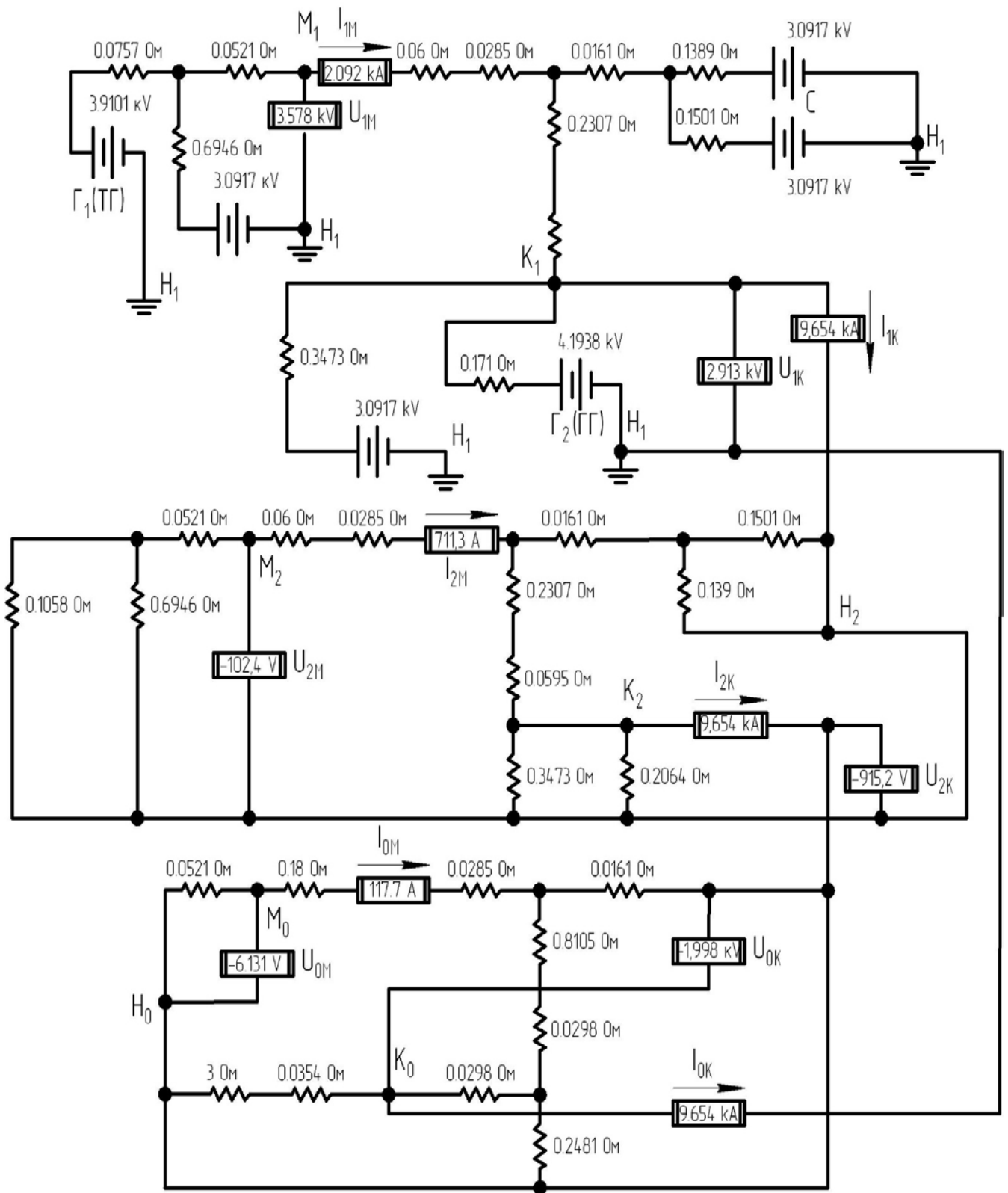


Рисунок 4 – Комплексная схема замещения с результатами моделирования при однофазном к.з. в точке K в начальный момент времени переходного процесса (по данным примера на рис. 1, лабораторной работы №1)

$$\dot{I}_{II.0(A)}^{(1)} = m^{(1)} \cdot \dot{I}_{A1}^{(1)} = 3 \cdot 9,654 = 28,962 \text{ кА};$$

$$I_{П.0(B)}^{(1)} = a^2 \cdot \dot{I}_{A1} + a \cdot \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} = e^{j240^\circ} \cdot 9,654 + e^{j120^\circ} \cdot 9,654 + 9,654 = 0 \text{ кА};$$

$$I_{П.0(C)}^{(1)} = a \cdot \dot{I}_{A1} + a^2 \cdot \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} = e^{j120^\circ} \cdot 9,654 + e^{j240^\circ} \cdot 9,654 + 9,654 = 0 \text{ кА};$$

$$\dot{U}_{M(A)}^{(1)} = \dot{U}_{1M} + \dot{U}_{2M} + \dot{U}_{0M} = (j3,578 - j0,1024 - j0,0061) \cdot \frac{115}{6,3} = j63,332 \text{ кВ};$$

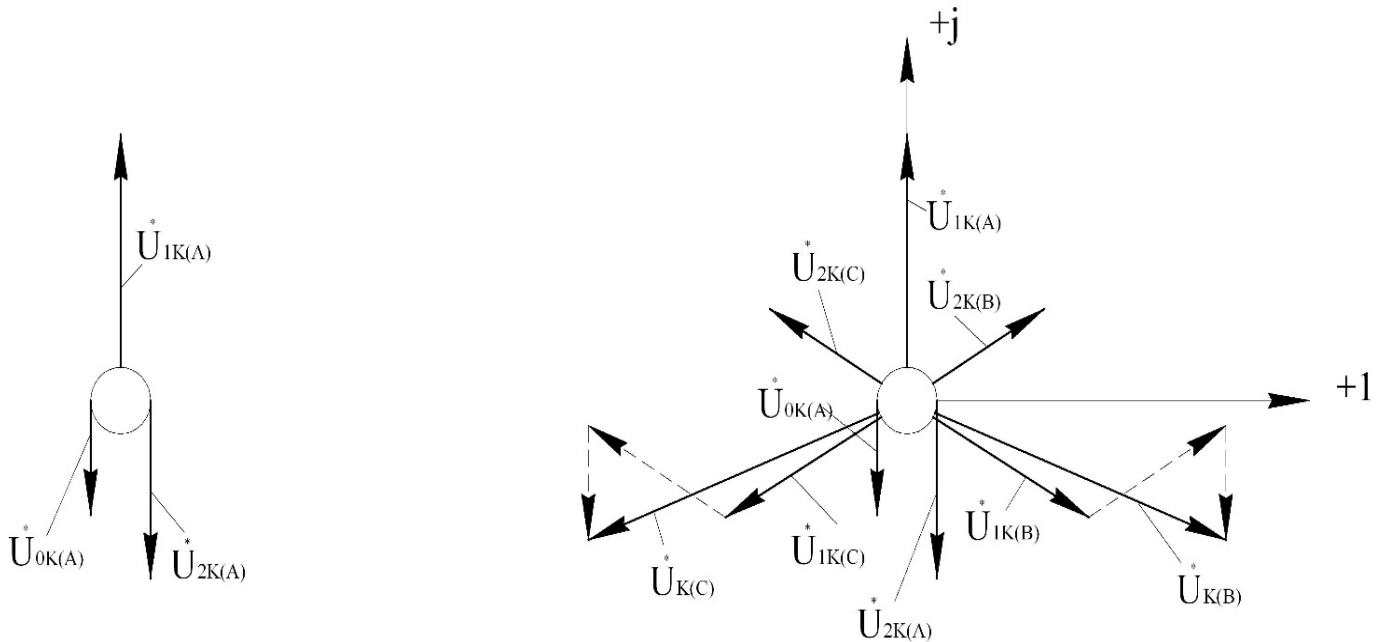


Рисунок 5 – Пример построения векторной диаграммы фазных напряжений в месте к.з. при однофазном коротком замыкании

$$\begin{aligned} \dot{U}_{M(B)}^{(1)} &= a^2 \cdot \dot{U}_{1M} + a \cdot \dot{U}_{2M} + \dot{U}_{0M} = \\ &= \left\{ e^{j240^\circ} \cdot j3,578 + e^{j120^\circ} \cdot (-j0,1024) - j0,0061 \right\} \cdot \frac{115}{6,3} = 66,317 e^{-j28,69^\circ} \text{ кВ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{M(C)}^{(1)} &= a \cdot \dot{U}_{1M} + a^2 \cdot \dot{U}_{2M} + \dot{U}_{0M} = \\ &= \left\{ e^{j120^\circ} \cdot j3,578 + e^{j240^\circ} \cdot (-j0,1024) - j0,0061 \right\} \cdot \frac{115}{6,3} = 66,317 e^{j28,69^\circ} \text{ кВ}; \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{M(A)}^{(1)} = \dot{I}_{1M} + \dot{I}_{2M} + \dot{I}_{0M} = (2,092 + 0,1177) \cdot \frac{6,3}{115} = 0,16 \text{ кА};$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{M(B)}^{(1)} &= a^2 \cdot \dot{I}_{1M} + a \cdot \dot{I}_{2M} + \dot{I}_{0M} = \\ &= (e^{j240^\circ} \cdot 2,092 + e^{j120^\circ} \cdot 0,7113 + 0,1177) \cdot \frac{6,3}{115} = 0,096 e^{j222,97^\circ} \text{ кА}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{M(C)}^{(1)} &= a \cdot \dot{I}_{1M} + a^2 \cdot \dot{I}_{2M} + \dot{I}_{0M} = \\ &= \left\{ e^{j120^\circ} \cdot 2,092 + e^{j240^\circ} \cdot 0,7113 + 0,1177 \right\} \cdot \frac{6,3}{115} = 0,096 e^{j137,03^\circ} \text{ кА}. \end{aligned}$$

Известно, что при аналитическом расчете требуется знание величин сопротивлений $X_{2\Sigma}$ и $X_{0\Sigma}$, значения которых можно найти при работе на ПК. Для этого в набранной на ПК схеме замещения нужно включить между точкой к.з. и точкой нулевого потенциала схемы источник постоянной ЭДС и измерить суммарный ток рассматриваемой последовательности. Отношение ЭДС источника к суммарному току определяет значение искомого сопротивления.

Аналогично, можно определить и $X_{1\Sigma}$, если в схеме прямой последовательности принять нулевое значение ЭДС источников.

В качестве примера на рис.6 показан порядок определения сопротивлений $X_{2\Sigma}$ и $X_{0\Sigma}$ (по условиям рис.1, лабораторной работы №1).

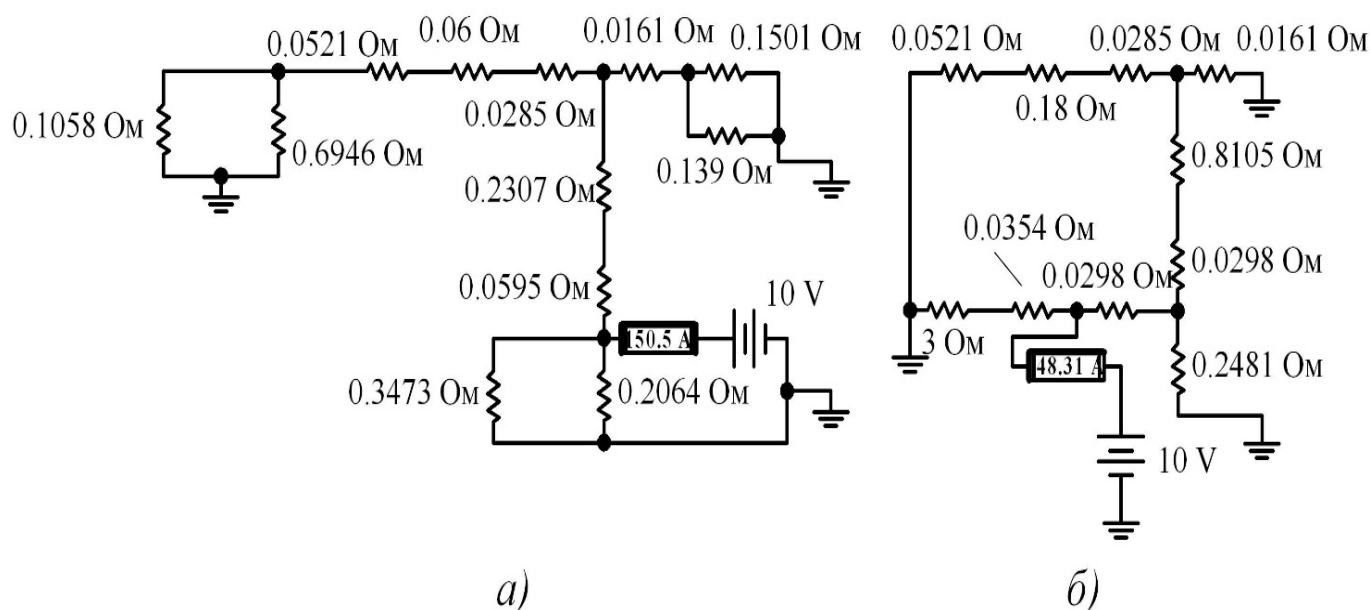


Рисунок 6 – Определение результирующих сопротивлений схем замещения по данным примера 1: а – обратной последовательности – $X_{2\Sigma}$; б – нулевой последовательности - $X_{0\Sigma}$

Таким образом, результирующие сопротивления схем замещения обратной и нулевой последовательностей будут такими:

$$X_{2\Sigma} = 10/105,5 = 0,0948 \text{ Ом}; \quad X_{0\Sigma} = 10/48,31 = 0,207 \text{ Ом}.$$

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Приступая к выполнению лабораторной работы, следует повторить содержание работы 1, в которой приведена методика работы на ПК и даны методические указания к выполнению расчетов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты эксперимента обрабатываются аналогично указаниям, приведенным в лабораторной работе 1.

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) название лабораторной работы;
- 2) формулировку цели работы;
- 3) расчетную схему электрической системы;
- 4) комплексную схему замещения для заданного вида к.з.;
- 5) расчет сопротивлений комплексной схемы замещения для рассматриваемого момента времени;
- 6) схему набора комплексной схемы замещения на ПК;
- 7) результаты измерений симметричных составляющих токов и напряжений на ПК;
- 8) расчет тока и мощности несимметричного к.з.;
- 9) выводы по работе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1 Поясните суть метода симметричных составляющих.
- 2 Порядок определения фазных векторов токов и напряжений исходной несимметричной трехфазной системы по их симметричным составляющим.
- 3 Правила составления схем замещения отдельных последовательностей.
- 4 Порядок применения правила эквивалентности прямой последовательности в расчетах токов к.з.
- 5 Порядок составления комплексной схемы замещения в зависимости от вида несимметричного к.з.
- 6 Порядок расчета тока несимметричного к.з. в начальный момент времени ($t=0$).
- 7 Порядок построения векторных диаграмм фазных токов и напряжений в точках K и M при несимметричном к.з. в точке K по данным измерений.
- 8 Поясните, как находится дополнительное сопротивление $\Delta X^{(n)}$ для каждого из видов несимметричного к.з.
- 9 В чём заключается правило эквивалентности прямой последовательности?
- 10 Как деформируются векторные диаграммы токов и напряжений при различных видах к.з. по мере удаления от места к.з. и при переходе через трансформатор?

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 НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №3 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 ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,00	Уч.-изд. л. 1,00
Заказ №72	э/в	Не для продажи

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