

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**РАСЧЕТ ТОКА ТРЁХФАЗНОГО К.З. В НАЧАЛЬНЫЙ  
МОМЕНТ ВРЕМЕНИ. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ  
РАБОТЫ НА ПК С ПРОГРАММОЙ Multisim 12.0**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы №1 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 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.

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к лабораторным работам составлены в соответствии с программой курса «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах», выполняемые на персональном компьютере (ПК) с применением программы математического моделирования физических процессов *Multisim 12.0*. [5]

Использование программы *EWB* при выполнении лабораторных работ на основе единого индивидуального задания помогает студенту наиболее полно понять методику расчетов симметричных и несимметричных к.з. в схеме конфигурации любой сложности. При этом существенно сокращается время расчетов, так как при моделировании схем замещения на ПК отсутствует необходимость преобразования их к простейшему виду.

## 2 ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ

Величины сопротивлений, набираемых на ПК, в зависимости от характеристики самой сети, могут моделировать ее активные, индуктивные сопротивления и модули полных сопротивлений. В этом случае сопротивления и ЭДС источников могут быть представлены при моделировании на ПК в виде активных сопротивлений и источников постоянного тока. Если на ПК набираются сопротивления, содержащие активную и реактивную составляющие, то источники должны быть представлены как источники ЭДС переменного тока соответствующей частоты и начальной фазы.

Если результирующее активное сопротивление схемы замещения относительно места к.з. менее одной трети результирующего индуктивного сопротивления схемы относительно точки к.з., то в высоковольтных сетях расчет токов к.з. обычно ведут с учетом только результирующего индуктивного сопротивления схемы.

В сельских электрических сетях очень часто расчет ведут с учетом только результирующего активного сопротивления сети из-за применения стальных проводов и малого сечения проводов из цветного металла.

При замене полного сопротивления элемента сети его активной или индуктивной составляющей при моделировании следует стремиться к тому, чтобы погрешность при измерении тока к.з. на ПК не превышала 5-10%.

С учетом этого можно дать следующие рекомендации:

а) в сетях напряжением до 1 кВ трансформаторы можно учитывать их индуктивными сопротивлениями, принимая равенство  $Z_{\delta} = X_{\delta}$ , а воздушные и кабельные линии – активными сопротивлениями, принимая  $Z_{Л} = R_{Л}$ ;

б) в сетях напряжением 6 – 10 кВ трансформаторы и воздушные линии можно учитывать индуктивными сопротивлениями  $Z_T = X_T$  и  $Z_{Л} = R_{Л}$ , а кабельные линии - активными сопротивлениями, принимая  $Z_{Л} = R_{Л}$ ;

в) в сетях напряжением 35 кВ трансформаторы и воздушные линии целесообразно учитывать модулями полных сопротивлений  $Z_T$  и  $Z_L$ , однако допускаются трансформаторы и воздушные линии с сечением проводов 95 мм<sup>2</sup> и выше учитывать индуктивными сопротивлениями, то есть  $Z_T = X_T$ ,  $Z_L = X_L$ ;

г) в сетях 110 кВ и выше трансформаторы и воздушные линии следует учитывать только индуктивными сопротивлениями, то есть  $Z_T = X_T$ ,  $Z_L = X_L$ .

При моделировании на ПК ЭДС всех источников питания схемы замещения должны быть приведены к основной ступени напряжения сети и иметь фазные значения. Кроме того, сопротивления всех элементов схемы замещения также должны быть приведены к основной ступени напряжения.

## 3 ПОРЯДОК РАБОТЫ НА ПК С ПРОГРАММОЙ

### 3.1 Характеристика программы

В настоящее время существует ряд программ для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых электрических и электронных устройств различного назначения.

В данной работе рассматривается применение программы *Multisim 12.0* особенностью которой является наличие виртуальных контрольно-измерительных приборов на рабочем поле, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам. При этом после набора схемы замещения на ПК моделирование начинается щелчком обычного выключателя, расположенного на рабочем поле.

### 3.2 Структура окна и система меню

Окно программы *Multisim 12.0* содержит поле меню, линейку контрольно-измерительных приборов и линейку библиотек компонентов. В рабочем поле программы располагается моделируемая схема с подключенными к ней иконами контрольно-измерительных приборов и краткое описание на английском языке. При необходимости каждый из приборов может быть развернут для установки его работы и наблюдения результатов.

Рассмотрим команды меню программы *Multisim 12.0*.

#### **Меню File**

Меню *File* предназначено для загрузки и записи файлов, получения твердой копии выбранных для печати составных частей схемы, а также для импорта/экспорта файлов в форматах других систем моделирования.

1 Первые 4 команды этого меню: *New*, *Open*, *Save*, *Save as...* - типичные для *Windows* команды работы с файлами, и поэтому пояснений не требует.

Схемные файлы программы *Multisim* имеют расширение - *.ewb*.

2 *Revert to Saved...* - стирание всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования, и составления схемы в первоначальном виде.

3 *Export to SPICE* – составление текстового описания схемы и задания на моделирование в формате *SPICE*.

4 *Import from SPICE* – импорт текстовых файлов описания схемы и задания на моделирование в формате *SPICE* и автоматическое построение схемы по ее текстовому описанию.

5 *Print...* - выбор данных для вывода на принтер: *Schematic* – схемы (опция включена по умолчанию); *Description* – описание к схеме; *Part list* – перечень выводимых на принтер документов; *Label list* – список обозначений элементов схемы; *Model list* – список имеющихся в схеме компонентов; *Sub circuits* - подсхемы (части схемы, являющиеся законченными функциональными узлами и обозначаемыми прямоугольниками с названием внутри); *Instruments* – список приборов.

В этом же подменю можно выбрать опции печати (кнопка *Setup*). Предусмотрена возможность изменения масштаба выводимых на принтер (кнопка *Print*). Предусмотрена возможность изменения масштаба выводимых на принтер данных в пределах от 20 до 500%.

6 *Print Setup...* - настройка принтера.

7 *Exit* – выход из программы.

8 *Install...* - установка дополнительных программ с гибких дисков.

### **Меню Edit**

Меню Edit позволяет выполнять команды редактирования схем и копирование экрана.

1 *Cut* – стирание (вырезание) выделенной части схемы с сохранением ее в буфере обмена (*Clipboard*). Выделение одного компонента производится щелчком мыши на его изображении. Для выделения части схемы или нескольких компонентов необходимо поставить курсор мыши в левый угол воображаемого прямоугольника, охватывающего выделяемую часть, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, протянуть курсор по диагонали прямоугольника, контуры которого появляются уже в начале движения мыши, и затем отпустить кнопку. Выделенные компоненты окрашиваются в красный цвет.

2 *Copy* – копирование выделенной части схемы в буфер обмена.

3 *Paste* – вставка содержимого буфера обмена на рабочем поле программы.

4 *Delete* – стирание выделенной части схемы.

5 *Select all* – выделение всей схемы.

6 *Copy as Bitmap* – команда превращает курсор мыши в крестик, которым по правилу прямоугольника можно выделить нужную часть экрана. После отпущения левой кнопки мыши выделенная часть копируется в буфер обмена.

Копирование всего экрана производится нажатием клавиши *Print Screen*: копирование активной в данный момент части экрана, например, диалогового окна – комбинацией *Alt+Print Screen*. Команда удобна при подготовке отчетов по моделированию.

### **Меню Circuit**

Меню *Circuit* используется при подготовке схем, а также для задания параметров моделирования.

1 *Rotate* – поворот выделенного компонента на 90° в направлении против часовой стрелки.

2 *Flip Horizontal* – зеркальное отображение компонента по горизонтали.

3 *Flip Vertical* – то же по вертикали.

4 *Component Properties* (свойства компонента). Команда выполняется также после двойного щелчка по компоненту. При выполнении команды открывается диалоговое окно из нескольких закладок: *Label...* - ввод позиционного обозначения выделенного компонента (например, *R1* – для резистора, *L5* – для реактора и т.д.); *Value...* изменение номинального значения параметра компонента (номинальное значение параметра вводится на клавиатуре нажатием курсором мыши. Например, для конденсатора задается его емкость в пикофарадах (пФ), нанофарадах (нФ), микрофарадах (мкФ) или миллифарадах (мФ); *Model...* - выбор модели компонента (полупроводникового прибора, операционного усилителя, трансформатора и др.). *Fault* – имитация неисправности выделенного компонента путем введения: *Leakage* – сопротивления утечки; *Short* - короткого замыкания; *Open* – обрыва. Команда выполняется также двойным щелчком по компоненту.

5 *Create Sub circuit...* - преобразование предварительно выделенной части схемы в подсхему.

6 *Zoom in* - раскрытие (развертывание) выделенной подсхемы или контрольно-измерительного прибора.

7 *Zoom out* – обратна по действию команде *Zoom in*.

8 *Schematic options...* - выбор элементов оформления схемы; команда состоит из ряда закладок: *Show grid* – показывать сетку для удобства рисования схемы (опция активна только при включенной опции *Use grid* – использовать сетку); *Show/hide* – состоит из ряда закладок: *Show labels* – показывать позиционные обозначения компонентов, например, *C1*, *C2*, для конденсаторов; *Show models* – показывать наименование моделей компонентов, например, типов транзисторов; *Show values* – показывать номиналы компонентов, например, сопротивления резисторов; *Show nodes* – показывать номера узлов схемы.

9 *Analysis Options...* - установка режимов моделирования:

*Transient* – расчет переходных процессов после включения источника питания (результаты представляются на экране осциллографа в графическом виде); *Steady-state* – расчет стационарного режима (режима по постоянному току); *Assume linear operation* – при расчете переходных процессов принимается линеаризованная модель активных элементов; *Pause after each screen* – пауза после заполнения экрана при выводе на осциллограф; *Store results for all nodes* – вывод результатов для всех контрольных точек (узлов) схемы;

*Tolerance* – задание допустимой погрешности моделирования (по умолчанию 1%): чем меньше погрешность моделирования, тем больше затраты времени на моделирование; *Time domain points per cycle* – выбор количества отсчетов отображаемого на экране осциллографа сигнала (по умолчанию – 100 точек на период (может быть увеличено в 100 раз). С увеличением количества отсчетов форма сигнала рассчитывается более точно при одновременном замедлении процесса моделирования. В некоторых случаях заниженное (установленное по умолчанию) значение параметра может привести к существенным искажениям результата моделирования.

### **Меню Windows**

Меню *Windows* содержит следующие команды:

*Arrange* – упорядочивание информации в рабочем окне путем перезаписи экрана, при этом исправляются искажения изображений компонентов и соединительных проводников;

*Sircuit*– вывод схемы на передний план;

*Description* – вывод на передний план описания схемы, если оно имеется, или окно – ярлык для его подготовки (только на английском языке).

### ***Меню Help***

Меню *Help* построено стандартным для *Windows* способом. Оно содержит краткие сведения по всем рассмотренным выше командам, библиотечным компонентам и измерительным приборам, а также сведения о самой программе.

### **3.3 Технология подготовки схем**

Прежде чем создать чертеж принципиальной схемы средствами программы *Multisim*, необходимо на листе бумаги подготовить ее эскиз с примерным расположением компонентов и с учетом возможности оформления отдельных фрагментов в виде подсхем.

В общем случае процесс создания схемы начинается с размещения на рабочем поле *Multisim* компонентов из библиотек программы в соответствии с подготовленным эскизом. Тринадцать разделов библиотеки программы *Multisim* поочередно могут быть вызваны с помощью меню *Windows* или с помощью иконок, расположенных под линейкой контрольно-измерительных приборов.

Каталог выбранной библиотеки располагается в вертикальном окне справа или слева от рабочего поля (устанавливается в любое место перетаскиванием стандартным способом – за шапку заголовка).

Для открытия каталога нужной библиотеки необходимо подвести курсор мыши к соответствующей иконке и нажать один раз ее левую кнопку.

Необходимый для создания схемы значок (символ) компонента переносится из каталога на рабочее поле программы движением мыши при нажатой левой кнопке. После чего кнопка отпускается (для фиксирования символа) и производится двойной щелчок по значку компонента.

В раскрывающемся диалоговом окне устанавливаются требуемые параметры (сопротивление резистора, тип транзистора и т.д.), и выбор подтверждается нажатием кнопки *Accept* или клавиши *Enter*.

На этом этапе необходимо предусмотреть место для размещения контрольных точек и контрольно-измерительных приборов.

Если в схеме используются компоненты одинакового номинала (например, резисторы с одинаковым сопротивлением), то номинал такого компонента целесообразно задать непосредственно в каталоге библиотеки, и затем переносить компоненты в нужном количестве на рабочее поле. Для изменения номинала компонента необходимо два раза щелкнуть мышью по символу его графического изображения и в раскрывающемся после этого окне внести изменения.

После размещения компонентов производится соединение их выводов проводниками. При этом необходимо учитывать, что к выводу компонента можно подключить только один проводник.

Для выполнения подключения курсор мыши подводится к выводу компонента и после появления круглой точки черного цвета нажимается левая кнопка. Появляющийся при этом проводник протягивается к выводу другого компонента до появления на нем такой же точки, после этого кнопка мыши отпускается. Соединение готово.

При необходимости подключения к этим выводам других проводников в библиотеке *Passive* выбирается точка (символ соединения) и переносится на ранее установленный проводник. Чтобы точка почернела (первоначально она имеет красный цвет), необходимо щелкнуть мышью по свободному месту рабочего поля.

Если эта точка действительно имеет электрическое соединение с проводником, то она полностью окрашивается черным цветом. Если на ней виден след от пересекающего проводника, то электрического соединения нет и точку необходимо установить заново.

Если соединение нужно разорвать, курсор подводится к одному из выводов компонентов или точке соединения и при появлении черной точки нажимается левая кнопка, проводник отводится на свободное место рабочего поля, после чего кнопка отпускается.

Если необходимо подключить вывод к имеющемуся на схеме проводнику, то проводник от вывода компонента курсором подводится к указанному проводнику и после появления точки соединения кнопка мыши отпускается. Следует отметить, что прокладка соединительных проводников производится автоматически, причем препятствия – компоненты и другие проводники - огибаются по ортогональным направлениям (по горизонтали или вертикали).

Если необходимо переместить отдельный сегмент проводника, к нему подводится курсор, нажимается левая кнопка и после появления в вертикальной или горизонтальной плоскости двойного курсора производятся нужные перемещения.

Подключение к схеме контрольно-измерительных приборов производится аналогично. Причем для таких приборов, как осциллограф или логический анализатор, подсоединения целесообразно проводить цветными проводниками, поскольку их цвет определяет цвет соответствующей осциллограммы.

В заключении данного параграфа отметим, что работа на персональном компьютере с программой *Multisim* проще работы при моделировании расчетных схем на расчетных столах постоянного и переменного тока. Эта работа быстрее и гораздо эффективнее с точки зрения экономии времени, сокращения числа предварительных процедур и практически неограниченных возможностей по числу применения активных и пассивных элементов схемы замещения.

В качестве примера применения программы *Multisim* на рисунках 1- 3 приведены, соответственно: расчетная схема электрической системы, ее схема замещения с приведением параметров всех элементов к основной ступени напряжения (6 кВ) при расчете трехфазного к.з. в точке  $K$  для момента времени  $t=0$  и набор схемы замещения на ПК.



**Исходные данные:**

- генераторы  $\Gamma_1(\text{ТГ})$ :  $S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $X_{*d}'' = 0,143 \text{ о.е.}$ ;  $X_{*2} = 0,15 \text{ о.е.}$ ;  
 $I_{*k(0)} = k_3 = 1$ ;  $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,85$ ;  $I_{*f(0)} = 2,0 \text{ о.е.}$ ;  $\Gamma_2(\text{ГГ})$ :  $S_{\text{НОМ}} = 67,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $X_{*d}'' = 0,29$   
 $\text{о.е.}$ ;  $X_{*2} = 0,35 \text{ о.е.}$ ;  $I_{*k(0)} = k_3 = 1$ ;  $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,85$ ;  $I_{*f(0)} = 1,6 \text{ о.е.}$ ;  $X_{*0} = 0,06 \text{ о.е.}$ ;
- трансформаторы  $T_1$ :  $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $u_k = 10,5\%$ ;  $T_3$ :  $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  
 $u_k = 12\%$ ;  $T_2$ :  $S_{\text{НОМ}} = 160 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $u_{\text{КВС}} = 11\%$ ;  $u_{\text{КВН}} = 18\%$ ;  $u_{\text{КСН}} = 6\%$ ;
- обобщённые нагрузки  $H_1$ – $H_3$ : нагрузка  $H_1$ :  $S_{\text{НОМ}} = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ; нагрузка  $H_2$ :  
 $S_{\text{НОМ}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ; нагрузка  $H_3$ :  $S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

*Примечание.* Все генераторы типовые с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ). Для генераторов приведены данные, которые необходимы для последующих расчетов симметричного и несимметричного режимов.

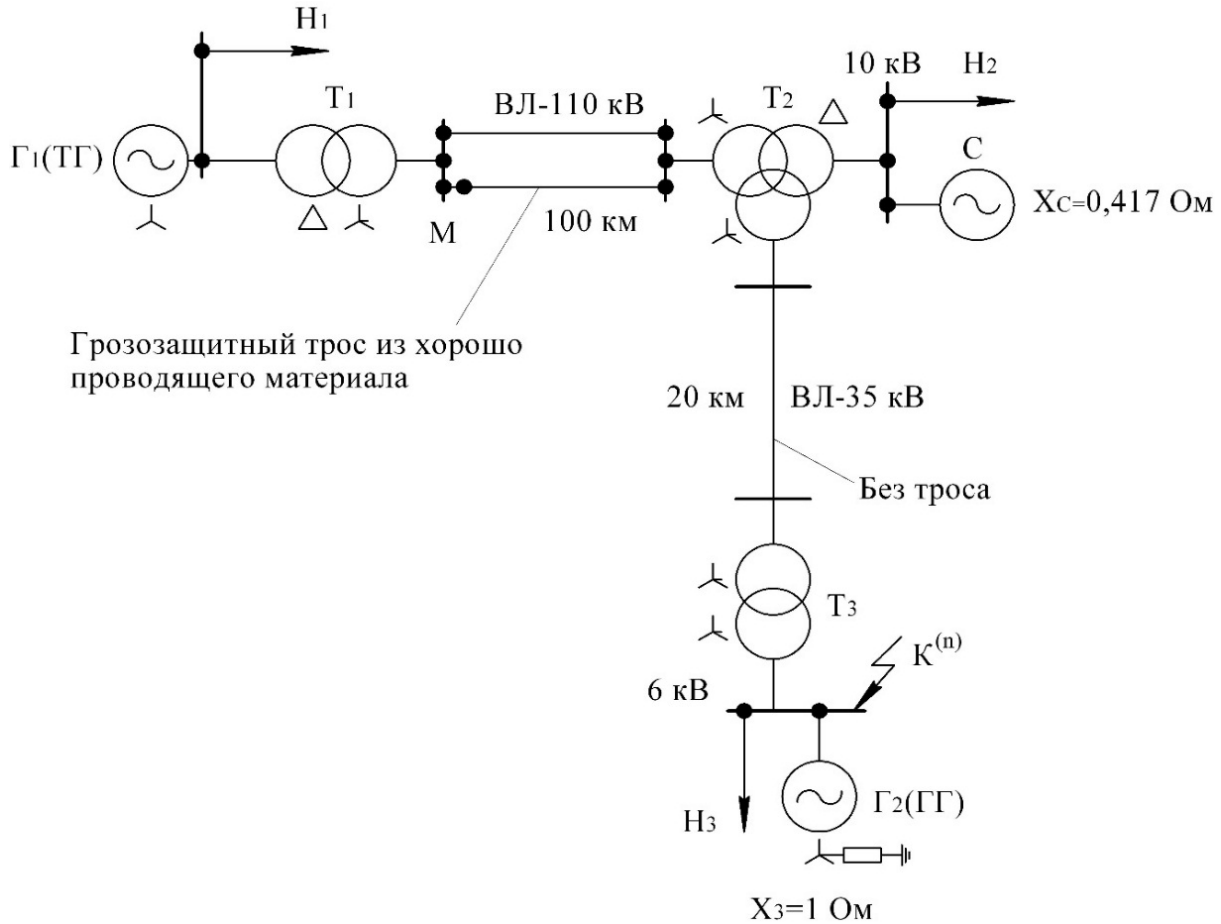


Рисунок 1 – Исходная расчетная схема электроснабжения

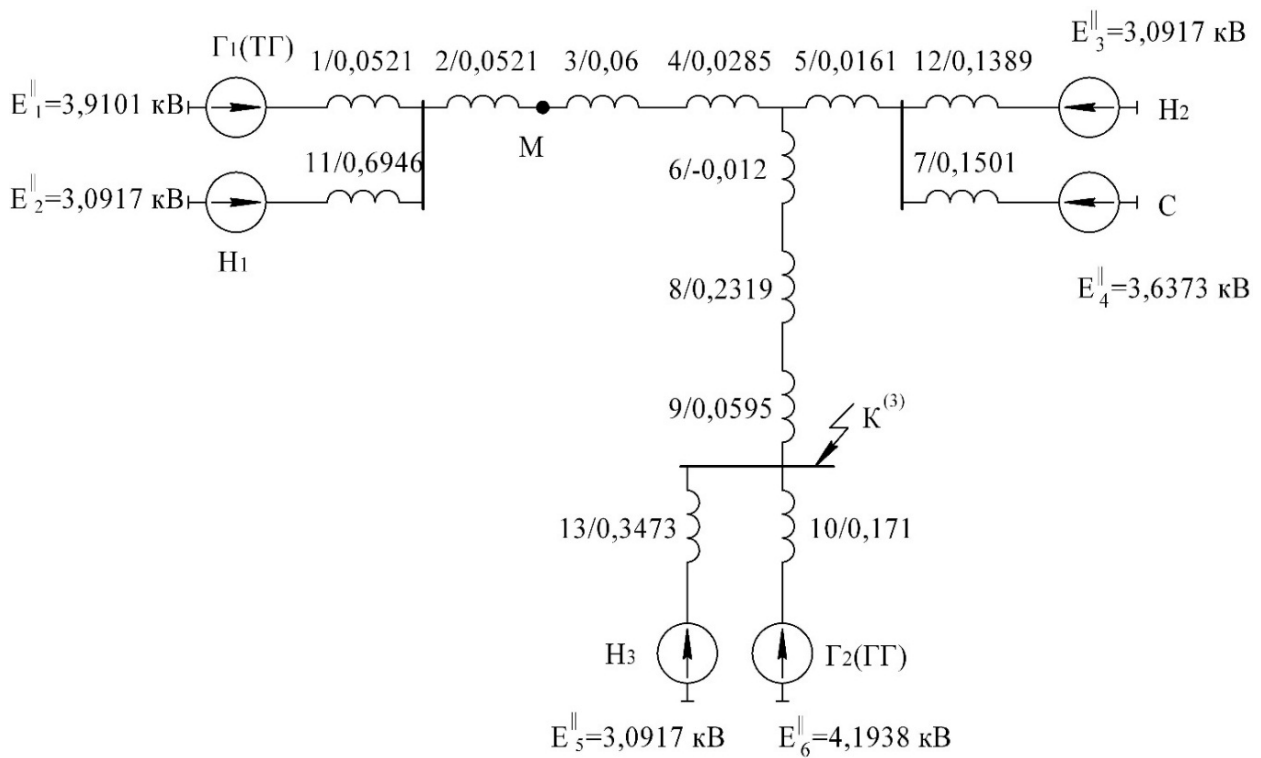


Рисунок 2 – Схема замещения при расчете трехфазного к.з. в точке  $K$  в начальный момент времени переходного процесса

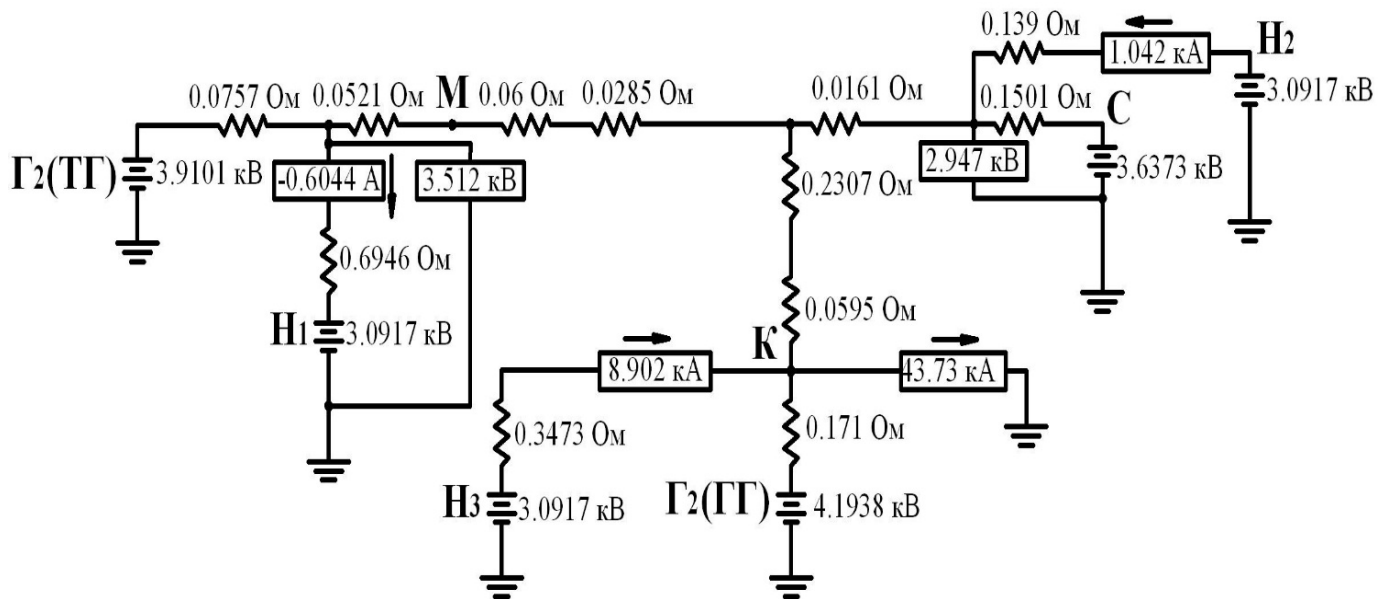


Рисунок 3 – Набор схемы замещения с результатами моделирования при расчете трехфазного к.з. в точке  $K$  в начальный момент времени переходного процесса при использовании программы *Multisim 12.0*

## Лабораторная работа 1

### РАСЧЕТ ТОКА ТРЁХФАЗНОГО К.З. В НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ РАБОТЫ НА ПК С ПРОГРАММОЙ

**Цель работы:** освоить методику работы на ПК с программой *Multisim 12.0* при расчёте тока трёхфазного к.з. в начальный момент времени.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

##### Рабочее задание

Для расчетной схемы, выданной преподавателем, необходимо выполнить:

- а) составить схему замещения для расчета тока трехфазного к.з. в начальный момент времени в заданной точке  $K$ ;
- б) рассчитать параметры элементов схемы замещения в именованных единицах, приведенные к основной ступени напряжения;
- в) набрать схему замещения на ПК;
- г) измерить токи в ветвях источников, нагрузок и в месте к.з.;
- д) рассчитать мощность трехфазного к.з.

Для успешного выполнения задания студенту нужно знать содержание и повторить теоретический материал [1] в следующем объеме:

- 1 система относительных единиц, §§ 2, 3;
- 2 составление схемы замещения, способы расчета и приведения сопротивлений элементов схемы замещения к основной ступени напряжения точно и приближенно, §§ 2, 4;
- 3 расчет сверхпереходного и ударного токов к.з., § 6.6.

#### ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Приступая к выполнению работы на ПК, необходимо предварительно изучить методику работы на ПК с программой *Multisim 12.0* (См.п. 3 ПОРЯДОК РАБОТЫ НА ПК С ПРОГРАММОЙ)

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При выполнении лабораторных работ расчет сопротивлений элементов схемы замещения осуществляется в именованных единицах по формулам[1;2]:

линия: 
$$X_{\text{Л}} = X_0 \cdot \ell \cdot \frac{U_{\text{ОСН.СТ}}^2}{U_{\text{СР.СТ}}^2}, \text{ Ом}; \quad (1)$$

трансформатор: 
$$X_{\text{Т}} = \frac{u_{\text{К}} \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ОСН.СТ}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}}, \text{ Ом}; \quad (2)$$

$$\text{реактор:} \quad X_p = \frac{X_p \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ.Р}} U_{\text{ОСН.СТ}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ.Р}} \cdot U_{\text{СР.СР}}^2}, \text{ Ом}; \quad (3)$$

$$\text{обобщенная нагрузка} \quad X_{\text{НГ}} = X_{*\text{НГ}} \cdot \frac{U_{\text{ОСН.СТ}}^2}{S_{\text{НГ}}}, \text{ Ом}; \quad (4)$$

$$\text{генератор:} \quad X_{\text{Г}} = X_{*\text{Г}} \cdot \frac{U_{\text{ОСН.СТ}}^2}{S_{\text{НОМ.Г}}}, \text{ Ом}, \quad (5)$$

где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление линии длиной  $\ell$ , Ом/км;

$U_{\text{ОСН.СТ}}$  – линейное напряжение основной ступени, кВ;

$U_{\text{СР.СР}}$  – среднее линейное напряжение ступени, на которой находится линия, кВ;

$u_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{\text{НОМ.Т}}, S_{\text{НОМ.Г}}, S_{\text{НГ}}$  – полная номинальная мощность трансформатора, генератора и обобщенной нагрузки соответственно, МВ·А;

$X_{*\text{Г}}, X_{*\text{НГ}}$  – относительное сопротивление генератора и обобщенной нагрузки

для рассматриваемого момента времени соответственно, о.е.;

$X_p$  – индуктивное сопротивление реактора, %;

$U_{\text{НОМ.Р}}$  – линейное номинальное напряжение реактора, кВ;

$I_{\text{НОМ.Р}}$  – номинальный ток реактора, кА.

ЭДС генератора (фазная) для рассматриваемого момента времени к.з. при моделировании на ПК определяют по приближенному выражению

$$E_{\text{Г}} = (1 + I_{*(0)} \cdot X_{*\text{Г}} \cdot \sin \varphi_{\text{НОМ}}) \cdot \frac{U_{\text{ОСН.СТ}}}{\sqrt{3}}, \text{ кВ}, \quad (6)$$

где  $\varphi_{\text{НОМ}}$  – угол сдвига между векторами тока и напряжения генератора при номинальном режиме его работы;

$I_{*(0)} = k_3$  – коэффициент нагрузки генератора в исходном режиме.

Мощность любого вида к.з. для моментов времени  $t=0$  и  $t \neq 0$  рассчитываем по формулам, соответственно:

$$S_{\text{К}}^{(n)} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{П.О}}^{(n)} \cdot U_{\text{СР}}; \quad S_{\text{Кт}}^{(n)} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Пт}}^{(n)} \cdot U_{\text{СР}}, \quad (7)$$

где  $n$  – характеризует вид к.з. ( $n = (2); (1); (1.1)$ ).

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

При работе с программой *Multisim 12.0* суммарная погрешность измерения определяется в основном двумя составляющими: методической и инструментальной. Методическая погрешность обычно равна 5 - 10% (из-за замены модулей полных сопротивлений их активными или индуктивными составляющими и неучета точных значений коэффициентов трансформации); инструментальная погрешность, обусловленная точностью результатов моделирования, показываемых

на шкалах измерительных проборов (четыре значащие цифры на дисплее прибора), не превышает 0,1%.

Следовательно, измеренная величина тока или напряжения может быть представлена в виде:  $PI(\text{кА})$ ,  $\Delta$  от  $-10\%PI$  до  $+10\%PI$ , с вероятностью  $p=0,95$ , где  $PI$  – показания прибора, например, в кА;  $\Delta$  – суммарная погрешность измерения, кА.

Таким образом, истинное значение измеряемого тока (напряжения) с вероятностью 0,95 находятся в интервале:  $0,9PI \leq PI \leq 1,1PI$  (так как инструментальной погрешностью практически можно пренебречь).

## 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 результатами моделирования;
- 5 таблицу результатов измерений токов и напряжений в характерных ветвях и узлах схемы замещения;
- 6 оценку полученных результатов в зависимости от величины мощностей нагрузок и удаленности их относительно места к.з.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1 Перечислите основные меню программы *Multisim 12.0* и поясните их основные функции.
- 2 Как на ПК осуществляется набор сопротивлений и ЭДС источников?
- 3 Как осуществляется связь между отдельными элементами схемы замещения, набранной на ПК?
- 4 Порядок измерения напряжений на ПК между любыми точками набранной схемы замещения.
- 5 Методика определения масштаба напряжений, сопротивлений и токов при моделировании схем замещения на ПК.
- 6 Общий порядок производства измерений на ПК.

## 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 Переходные процессы в системах электроснабжения/ В. Н. Винославский и др. – 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 ТРЁХФАЗНОГО К.З. В НАЧАЛЬНЫЙ  
МОМЕНТ ВРЕМЕНИ. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ  
РАБОТЫ НА ПК С ПРОГРАММОЙ Multisim 12.0**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы №1 по дисциплине  
«Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»  
для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и  
электротехника» (профиль «Электроснабжение»)

Авторская редакция

---

Подписано в печать 5.04.18	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,00	Уч.-изд. л. 1,00
Заказ №70	Э/в	Не для продажи

---

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