

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ»

Семенова Л.А., Кулеева Л.И.

ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В соответствии с образовательным стандартом ФГОС ВО студенты, обучающиеся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника должны овладеть такими профессиональными компетенциями как:

- использование современных и перспективных компьютерных и информационных технологий (ПК-9);
- использование прикладного программного обеспечения для расчета параметров и выбора устройств электроэнергетического оборудования (ПК-14);
- решать инженерно-технические и экономические задачи с применением средств прикладного программного обеспечения (ПК-19).

Лабораторные работы по дисциплине «Математические задачи в энергетике» ориентированы на ознакомление студентов с прикладными пакетами *MathCAD* (MathSoft Inc.) и *MatLAB* (MathWorks Inc.) и их применение для решения научно-технических и прикладных задач в профессиональной деятельности.

В данной работе описана методика проведения лабораторного занятия «Математическое и имитационное моделирование симметричных и несимметричных режимов работы трехфазной цепи».

Целью работы является составление математических и имитационных моделей, характеризующих симметричный и несимметричный режимы работы трехфазной цепи.

Поставленная цель достигается при решении следующих задач:

- формализация математических моделей расчета линейных и фазных токов и напряжений, мощностей трехфазной цепи в симметричном и несимметричном режимах в *MathCAD*;
- создание имитационной модели для определения токов, напряжений, мощностей трехфазной цепи в аналогичных режимах работы в *MatLAB*;
- сравнительный анализ результатов, полученных при математическом и имитационном моделировании.

Методика выполнения лабораторной работы рассмотрена на примере решения задачи для трехфазной цепи (ТФЦ) с линейным напряжением $U_{л} = 660$ В, частотой 50 Гц, источник которой собран по схеме звезда; нагрузка – активная, собрана по схеме треугольник, сопротивления фаз $Z_{\phi} = 20$ Ом; причина нарушения симметричного режима работы – обрыв фазного провода «са» через 0,05 с.

1. Составить схему замещения трехфазной цепи.

Выбор схемы соединения ТФЦ, ее параметров, а также причина

несимметрии задается преподавателем каждому студенту индивидуально. Для рассматриваемого примера схема замещения представлена на рисунке 1.

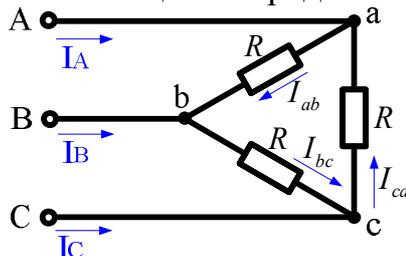


Рисунок 1 – Схема замещения трехфазной цепи

2. Составить математическую модель для расчета токов, напряжений, мощностей в симметричном режиме работы трехфазной цепи.

3. Составить математическую модель для расчета несимметричного режима работы трехфазной цепи.

Фрагмент математической модели расчета несимметричного режима при обрыве фазного провода «са» приведен на рисунке 2.

<p>Фазные напряжения источника При обрыве фазного провода нагрузки, собранной по схеме треугольник, фазные напряжения источника не изменятся</p> $U_A := \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot 0 \text{deg}}$ $U_B := U_A \cdot e^{j \cdot -120 \text{deg}}$ $U_C := U_A \cdot e^{j \cdot 120 \text{deg}}$	<p>Линейные напряжения источника Обрыв фазного провода нагрузки, собранной по схеме треугольник, не сказывается на изменении линейных напряжений источника</p> $U_{AB} := U_{\text{л}} \cdot e^{j \cdot 30 \text{deg}}$ $U_{BC} := U_{\text{л}} \cdot e^{j \cdot -90 \text{deg}}$ $U_{CA} := U_{\text{л}} \cdot e^{j \cdot 150 \text{deg}}$
<p>Фазные токи нагрузки</p> $I_{ab} := \frac{U_{AB}}{Z_{\phi}}$ $I_{bc} := \frac{U_{BC}}{Z_{\phi}}$ $I_{ca} := 0$	<p>Линейные напряжения нагрузки</p> $U_{ab} := I_{ab} \cdot Z_{\phi}$ $U_{bc} := I_{bc} \cdot Z_{\phi}$ $U_{ca} := I_{ca} \cdot Z_{\phi}$
<p>Линейные токи В несимметричном режиме работы линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа</p> $I_A := I_{ab} - I_{ca}$ $I_B := I_{bc} - I_{ab}$ $I_C := I_{ca} - I_{bc}$	
<p>Баланс мощности Комплексная мощность источника (S_и) и нагрузки (S_н) В несимметричном режиме работы мощность определяется как сумма мощностей всех фаз</p> $S_{\text{и}} := U_A \cdot \overline{I_A} + U_B \cdot \overline{I_B} + U_C \cdot \overline{I_C}$ $S_{\text{н}} := (I_{ab})^2 \cdot Z_{\phi} + (I_{bc})^2 \cdot Z_{\phi} + (I_{ca})^2 \cdot Z_{\phi}$	
<p>Активная (P) и реактивная (Q) мощности</p> $P_{\text{и}} := \text{Re}(S_{\text{и}})$ $P_{\text{н}} := \text{Re}(S_{\text{н}})$	$Q_{\text{и}} := \text{Im}(S_{\text{и}})$ $Q_{\text{н}} := \text{Im}(S_{\text{н}})$

Рисунок 2 – Фрагмент математической модели расчета несимметричного режима работы трехфазной цепи при обрыве фазного провода «са»

4. Создать имитационную модель, позволяющую исследовать симметричный режим работы ТФЦ. Измерить линейные и фазные токи и напряжения, снять их осциллограммы. Измерить активную и реактивную мощности трехфазной цепи.

4.1. Собрать имитационную модель.

4.2. Создать подсистему для измерения токов, напряжений и мощностей ТФЦ в симметричном режиме работы.

4.3. Настроить параметры всех блоков модели в соответствии с вариантом задания.

4.4. Запустить расчет модели, выбрав метод и установив время моделирования. Проанализировать полученные результаты.

5. Создать имитационную модель, позволяющую исследовать несимметричный (или аварийный) режим работы ТФЦ. Измерить линейные и фазные токи и напряжения, снять их осциллограммы. Измерить активную и реактивную мощности трехфазной цепи.

5.1. Собрать имитационную модель.

На рисунке 3 представлена модель для исследования несимметричного режима работы ТФЦ, возникающего в результате обрыва фазного провода «са».

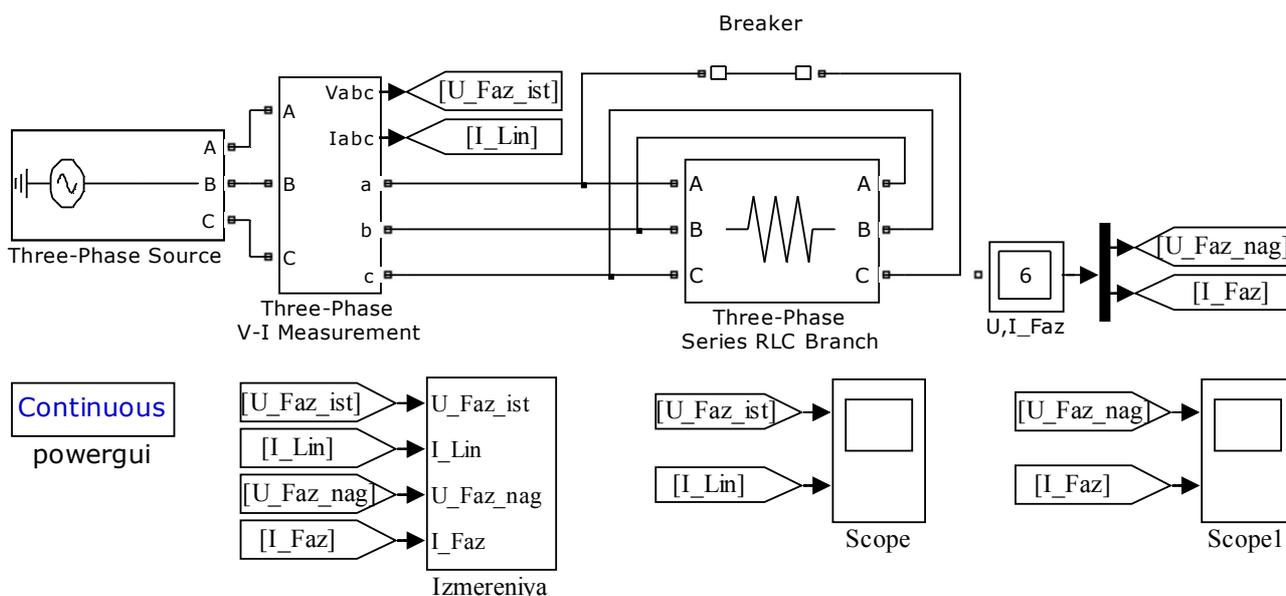


Рисунок 3 – Имитационная модель исследования аварийного режима работы трехфазной цепи

5.2. Создать подсистему для измерения параметров цепи в несимметричном режиме работы.

5.3. Настроить параметры всех блоков модели в соответствии с вариантом задания.

5.4. Запустить расчет модели, выбрав метод и установив время моделирования. Проанализировать полученные результаты.

Результаты математического и имитационного моделирования аварийного режима работы трехфазной цепи, представлены на рисунке 4. На

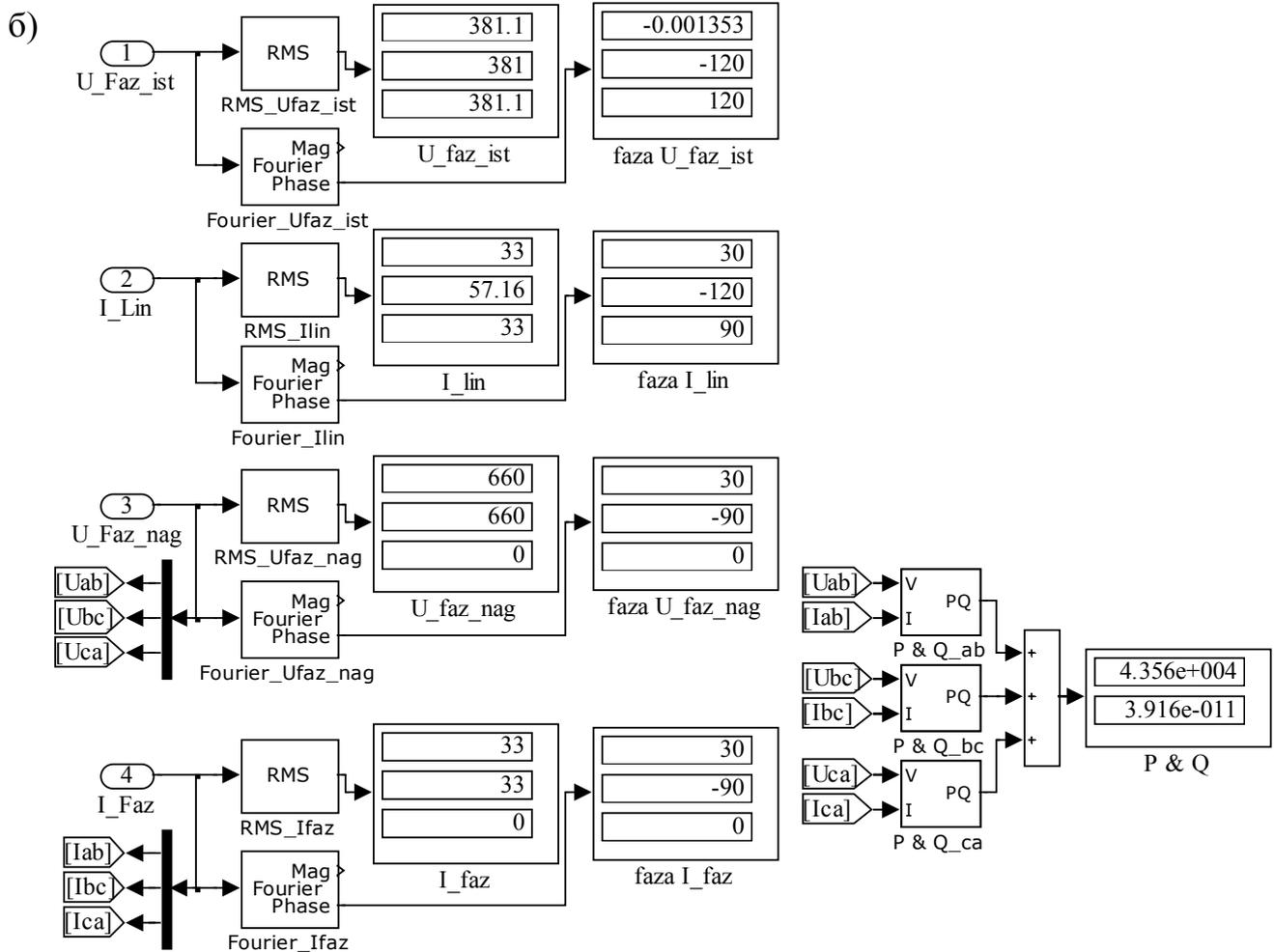
рисунке 5 приведены осциллограммы измеренных фазных токов и напряжений.

a)

$ U_A = 381.051 \text{ V}$	$\arg(U_A) = 0\text{-deg}$	$ U_{ab} = 660 \text{ V}$	$\arg(U_{ab}) = 30\text{-deg}$
$ U_B = 381.051 \text{ V}$	$\arg(U_B) = -120\text{-deg}$	$ U_{bc} = 660 \text{ V}$	$\arg(U_{bc}) = -90\text{-deg}$
$ U_C = 381.051 \text{ V}$	$\arg(U_C) = 120\text{-deg}$	$ U_{ca} = 0$	
$ I_A = 33 \text{ A}$	$\arg(I_A) = 30\text{-deg}$	$ I_{ab} = 33 \text{ A}$	$\arg(I_{ab}) = 30\text{-deg}$
$ I_B = 57.158 \text{ A}$	$\arg(I_B) = -120\text{-deg}$	$ I_{bc} = 33 \text{ A}$	$\arg(I_{bc}) = -90\text{-deg}$
$ I_C = 33 \text{ A}$	$\arg(I_C) = 90\text{-deg}$	$ I_{ca} = 0$	

$$P_{\pi} = 4.356 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\pi} = 0 \text{ W}$$



a) токи, напряжения и мощности, рассчитанные в *MatCAD*;

б) токи, напряжения и мощности, полученные в *MatLAB*

Рисунок 4 – Сравнение результатов моделирования аварийного режима работы трехфазной цепи

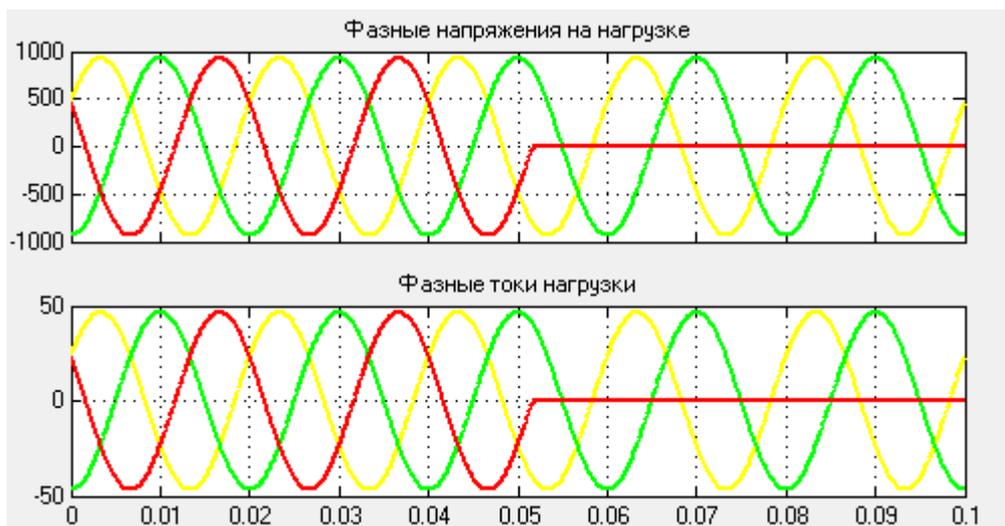


Рисунок 5 – Осциллограммы токов и напряжений на нагрузке при обрыве фазного провода «са»

6. Сформулировать выводы по работе, которые должны отражать следующие аспекты:

- адекватность созданных моделей в *MathCAD* и *MatLAB*;
- сравнительный анализ параметров трехфазной цепи (токов, напряжений, мощностей) при симметричном и несимметричном режимах работы.

Представленная методика проведения лабораторной работы способствует формированию у студентов профессиональных компетенций по разделу «Трехфазные цепи», являющегося основополагающим в области электроэнергетики.