**Методические указания**

**по выполнению контрольных работ по дисциплине**

**“Моделирование в MatLab/Simulink”**

**Задача №1**

Используя библиотеки Simulink и SimPowerSystems набрать в трех­фазном исполнении модель системы электроснабжения, схема которой представлена на рисунке. Уровни напряжения системы определяются уровнями напряжения трансформатора на его высокой и низкой стороне. Тип трансформатора и его параметры заданы в табл. 3 – 5. Таблицы со­ставлены со сквозными порядковыми номерами трансформаторов, соот­ветствующим порядковым номерам по списку группы.



1.Расчет параметров модели воздушной ЛЭП

Воздушная линия моделируется активно-индуктивным сопротивле­нием по каждой из фаз линии. Для этой цели целесообразно использовать
блок **3 Phase Series RLC Branch.**

Активное и индуктивное сопротивление ВЛ определяется выраже­ниями



где *rуд*, *xуд* – удельные сопротивления линии, Ом/км, т.е. сопротивления одного километра линии; *l*ВЛ – протяженность (длина) линии.

Протяженность воздушной ЛЭП зависит от напряжения на высокой стороне трансформатора и выбирается из табл. 1. В этой же таблице при­ведены приближенные значения удельных индуктивных сопротивлений ЛЭП.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Uн НН, кВ | 6 | 10 | 35 | 110 | 150 | 220 |
| *l*, км | 1-5 | 3-10 | 30-50 | 50-100 | 75-150 | 100-200 |
| x1уд Ом/км | 0,35 | 0,35 | 0,4 | 0,41 | 0,42 | 0,425 |

Активные сопротивления ВЛ зависят от сечения и марки провода. Марка провода и его сечение выбирается из табл. 2.

Таблица 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Напряжение ВЛ | Марка провода | Номинальный ряд сечений проводов |
| 6; 10; 35 | А | А-25; А-35; А-50; А-70; А-95 |
| 110 | АС | АС-70; АС95; АС-120; АС150; АС-185 |
| 150 | АС | АС-120; АС150; АС-185; АС-240 |
| 220 | АС | АС-240; АС-300; АС-400 |

Сечение провода рассчитывается по экономической плотности тока *j*эк в соответствии с выражением:



где *F*эк – сечение провода; *j*эк – экономическая плотность тока, которую следует принять равной *j*эк = 1,1 А/мм2; *I*ном – ток по линии, в данном случае соответствующей номинальной мощности трансформатора на высоком напряжении. Его можно вычислить по выражению



По рассчитанному сечению *F*эк выбирается ближайшее большее се­чение провода в соответствии с табл.7.

Активное удельное сопротивление провода рассчитывается по фор­муле



где *ρ* – удельное сопротивление металла или сплава, из которого изготовлен провод, Ом·мм2/км; *F*пр – сечение провода, выбранное из ряда номинальных сечений выпускаемых промышленностью проводов.

Приближенно можно принять как для алюминиевых, так и для стале-алюминиевых проводов воздушных линий значение *ρ* = 32 Ом·мм2/км.

2. Расчет параметров модели трансформатора

В настроечной коробке двух обмоточного трехфазного трансформа­тора задаются его параметры, соответствующие параметрам схемы заме­щения одной фазы трансформатора, приведенной на рис.3.

Параметры схемы замещения трансформатора рассчитываются по следующим выражениям:



сопротивления ветви намагничивания:



где ΔP*кз*, ΔP*хх*, ***S****ном* задается в МВА , *Uн* в кВ. В скобках приведены формулы для вычисления параметров в относительных единицах.



В двух обмоточном трансформаторе сопротивление первичной об­мотки близко к приведенному сопротивлению вторичной обмотки, т.е. *x* 1 =

*x'2 =* 0,5 *xт, r* 1 *= r'2 =* 0,5 *rт.*

3. Параметры модели нагрузки

Мощность нагрузки соответствует номинальной мощности транс­форматора. Нагрузка моделируется блоком **3 Phase Parallel RLC Load** на напряжении обмотки низкой стороны трансформатора. Коэффициент мощности нагрузки принять равным cos*φ* =0,85 при активно-индуктивной нагрузке.

4. Модель системы

Система моделируется блоком **3 Phase Sourсe.** Следует учитывать, что системы напряжением 35, 10, 6 кВ имеют изолированную нейтраль, а нейтраль системы напряженим 110 кВ и выше заземленны. В этой связи обмотка трансформатора, подключенная к трехфазному источнику с номи­нальным уровнем напряжения 35, 10, 6 кВ, должна бать соединена в треу­гольник.

Внутреннее сопротивление источника трехфазного напряжения в его настроечной коробке выбирается следующим образом.

Активное внутреннее сопротивление источника принимается равным нулю, а индуктивное рассчитывается по выражению



где *U*ном - номинальное напряжение сети, *Ik* (3) *-* ток трехфазного короткого замыкания в сети, значение которого следует принять равным 50 кА.

5. Процедура расчетов на модели системы

5.1. Установить трехфазный короткозамыкатель в одной из точек схемы системы, указанные на рис.1, и настроить его на трехфазное *кз*. Ус­тановить в модели измерительные приборы. Установить параметры моде­лирования в опции **Simulation,** соответствующие особенностям модели.

Запустить модель. Выбрать фазу, ток короткого замыкания в кото­рой имеет наибольшее значение максимального переходного тока (это фаза с начальным значением напряжения в трехфазном источнике равном ну­лю).

Запомнить и обработать осциллограмму переходного тока короткого замыкания с указанием на осциллограмме максимального значения пере­ходного (ударного) тока *кз*.

Выделить периодическую и апериодическую составляющие пере­ходного тока, используя специальную программу.

Определить графически постоянную времени апериодической со­ставляющей переходного тока.

Проделать такие же операции при установке короткозамыкателя для другой точки *кз*.

В отчете должно быть представлено:

1. Схема электрическая моделируемой системы, соответствующая
рис. 1, с обозначениями параметров элементов схемы. Схема должна быть
выполнена в графическом редакторе Visio или AutoCAD.

1. Расчетные процедуры параметров модели.
2. Полная схема **SimPowerSystem**-модели с примененными в модели средствами измерения и визуализации расчетов.
3. Результаты расчетов (моделирования) – обработанные осцилло­граммы переходного тока при коротком замыкании в точках 1, 2 схемы.
4. Осциллограммы разложения переходного тока на составляющие с указанием на осциллограмме значений амплитудных и действующих зна­чений периодической составляющей, начального значения и постоянной времени апериодической составляющей переходного тока.

**Таблица 3. Технические данные трансформаторов с высшим напряжением 35 кВ.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип | Мощность, МВА | Напряжение кВ | обмоток, | Uk,% | Ркз, кВт | I0,% |
| ВН | НН |  |  |  |
| 1 | ТДН-16000/35 | 16 | 36,75 | 10,5 | 10 | 85 | 0,6 |
| 23 | ТДН-25000/35 | 25 | 36,75 | 10,5 | 10,5 | 115 | 0,5 |
| 3 | ТДН-40000/35 | 40 | 36,75 | 10,5 | 12,7 | 170 | 0,4 |
| 45 | ТМ-2500/35 | 2,5 | 35 | 6,3 | 6,5 | 23,5 | 1,1 |
| 5 | ТМ-4000/35 | 4,0 | 35 | 6,3 | 7,5 | 33,5 | 1,0 |
| 6 | ТМ-6300/35 | 6,3 | 35 | 6,3 | 7,5 | 46,5 | 0,9 |
| 7 | ТДНС-10000/35 | 10 | 36,75 | 6,3 | 8 | 65 | 0,8 |
| 8 | ТДНС-16000/35 | 16 | 36,75 | 6,3 | 10 | 100 | 0,6 |
| 9 | ТДНС-25000/35 | 25 | 36,75 | 6,3 | 10,5 | 115 | 0,5 |
| 10 | ТДНС-32000/35 | 32 | 36.75 | 10,5 | 12,7 | 145 | 0,4 |

**Таблица 4. Технические данные трансформаторов с высшим напряжением 110 кВ.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/ п  | Тип | Мощ­ность, МВА | Напряжение об­моток, кВ | Uk,% | Ркз,кВт | I0,% |
| ВН 1 | НН | В-Н | Н1-Н2 |  |
| 11 | ТДН-40000/110 | 40 | 115 | 38,5 | 10,5 | - | 175 | 0,7 |
| 12 | ТДН-63000/110 | 63 | 115 | 10,5 | 10,5 | - | 245 | 0,65 |
| 13 | ТДН-80000/110 | 80 | 115 | 10,5 | 10,5 | - | 310 | 0,8 |
| 14 | ТДЦ-800000/110 | 80 | 115 | 6,3 | 11 | - | 310 | 0,8 |
| 15 | ТРДН-25000/110 | 25 | 121 | 10,5-10,5 | 10,5 | 30 | 120 | 0,8 |
| 16 | ТДЦ-125000/110 | 125 | 115 | 10,5 | 10,5 | - | 400 | 0,9 |
| 17 | ТДЦ-40000/110 | 40 | 121 | 20 | 10,5 | - | 900 | 0,6 |
| 18 | ТМН-2500/110 | 2,5 | 121 | 6,6 | 10,5 | - | 22 | 0,7 |
| 19 | ТМН-6300/110 | 6,3 | 110 | 11 | 10,5 | - | 44 | 1,3 |
| 20 | ТДН-10000/110 | 10 | 115 | 6,6 | 10,5 | - | 58 | 1,2 |

**Таблица 5. Технические данные трансформаторов с высшим напряжением 6,10, 35 кВ.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Тип | Uн, кВ | Схема и группа со­единенийобмоток | Потери, Вт | Uк,% | I 0, % от I н |
| ХХ | КЗ |
| 21 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 22 | ТМ-100 | 6; 10 | 0,4 | Y/Z-11 | 330 | 1970 | 4,5 | 2,6 |
| 23 | ТМ-100 | 35 | 0,4 | Y/Z-11 | 420 | 1970 | 6,5 | 2,6 |
| 24 | ТМ-160 | 6;10 | 0,4 | Y/Y-0 | 510 | 2650 | 4,5 | 2,4 |
| 25 | ТМ-160 | 6;10 | 0,4 | D/Y-11 | 510 | 3100 | 4,5 | 2,4 |
| 26 | ТМ-160 | 6;10 | 0,4 | Y/Z-11 | 565 | 3100 | 4,7 | 2,4 |
| 27 | ТМ-160 | 35 | 0,4 | Y/Yн -0 | 565 | 3100 | 4,5 | 2,4 |
| 28 | ТМ-160 | 35 | 0,4 | Y/Zн-11 | 620 | 3100 | 6,8 | 2,4 |
| 29 | ТМ-250 | 6,10 | 0,4 | Y/Zн-11 | 740 | 3700 | 4,5 | 2,3 |
| 30 | ТМФ-250 | 6;10 | 0,4 | Y/Zн-11 | 740 | 4200 | 4,7 | 2,3 |

**Задача № 2.**

**«Переходные процессы в линейных электрических цепях»**

В задании следует рассчитать переходные процессы в ли­нейных электрических цепях постоянного тока, вызванные включением (отключением) коммутационного аппарата (выключателя). Переходный процесс рассчитывается с использованием программы Simulink и ее расширения SimPowerSystem системы Matlab. Для выполне­ния расчета следует:

* Создать новый файл модели;
* набрать схему электрической цепи в соответствии с номером варианта;
* установить осциллограф в цепях, ток и напряжения которых необ­ходимо определить (указаны в таблице вариантов табл. 6);
* задать значения параметров элементов, заданных в таблице вариан­тов, номер задания должен соответствовать номеру зачетной книжки (последние две цифры);

- определить приближенно время переходного процесса и задать ме­тод и время интегрирования;

- обработать осциллограммы переходных процессов и включить их в
отчет.

Используя программы LTI Viewer и Impedance Measurement

* построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики заданного варианта электрической цепи;
* импеданс (модуль комплексного сопротивления) и фазу (угол сдви­га) между активной и реактивной частью комплексного сопротивления це­пи в зависимости от частоты.

В отчете привести Matlab/Simulink-программу, исходные значения парамет­ров электрической цепи, осциллограммы тока, напряжения, амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики, импеданс и фазу комплекс­ного сопротивления цепи.

*Таблица 6*

**Исходные данные на контрольную работу «Переходные процессы в линейных электрических цепях»**



*Продолжение табл.6*





Схемы электрических цепей