



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Цифровые технологии и платформы в электроэнергетике»

Методические указания
к виртуальным лабораторным работам
по дисциплине

**Технологическая и противоаварийная
автоматика в электроэнергетических
системах**

Автор
Шелест В.А.



Ростов-на-Дону, 2025

Аннотация

Методические указания для подготовки магистров заочной формы обучения по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» и ОПОП «Интеллектуальные электроэнергетические системы».

Автор

к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии и платформы в электроэнергетике»
Шелест В.А.





Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....	5
ЛР №1. ПРИМЕНЕНИЕ MULTISIM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИКИ	6
ЛР №2. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ.....	19
ЛР №3. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА.....	24
ЛР №4. МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ РЕЖИМОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ.....	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	38

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих указаниях рассматриваются методы моделирования технологической и противоаварийной автоматики, управляющей процессами производства, распределения и потребления электрической энергии.

Для компьютерного моделирования динамических процессов существует много компьютерных программ. В методических указаниях рекомендуется использовать программы MULTISIM и MBTU. Последняя программа разработана в одноименном высшем учебном заведении. Эта программа написана для специалистов, склонных к исследованиям работы своих устройств на основе теоретических описаний.

Уделено внимание решению вопроса синхронизации генераторов и включения их на параллельную работу. Действие этой автоматики является упреждающим. Основная ее цель не допустить возникновения больших уравнительных токов, опасных для генераторов. Во второй лабораторной работе выполняется моделирование процесса синхронизации генератора с энергосистемой.

Аварийное снижение частоты в энергосистеме, вызванное внезапным возникновением значительного дефицита активной мощности, протекает очень быстро – в течение нескольких секунд. Для уменьшения возможного снижения частоты и ее восстановления используется автоматическая частотная разгрузка (АЧР). Работа этой автоматики моделируется в третьей лабораторной работе.

Старение электрического оборудования, ошибки обслуживающего персонала или чрезвычайные погодные явления могут вызвать повреждения, которые повлияют на режим работы энергосистемы с последующим нарушением синхронной работы генераторов. В этом случае возникает очень тяжелый для энергосистемы асинхронный режим. Для восстановления нормальной работы энергосистемы используется автоматизация ликвидации асинхронного режима (АЛАР). Процессы при асинхронном ходе в энергосистеме и их моделирование рассмотрены в четвертой лабораторной работе.

Освоению материала по лабораторным работам способствует знание основ электротехники и электроники, переходных процессов в электроэнергетике.

Темы лабораторных работ соответствуют рабочей программе изучаемой дисциплины.

Методика проведения практических занятий содержит элементы научных исследований.

В методических указаниях обозначается цель выполняемой работы, даются общие сведения по теме практического занятия, подробно изложен порядок выполнения работы, указаны требования к содержанию отчета и приведены контрольные вопросы.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.

1.Выполнению заданий предшествует изучение теоретических частей «Технологическая автоматика» и «Общая противоаварийная автоматика» и «Системная противоаварийная автоматика» по дисциплине «Технологическая и противоаварийная автоматика в электроэнергетических системах».

2.Виртуальные лабораторные работы выполняются по темам:

- Применение программы Multisim для моделирования устройств автоматики.
- Полуавтоматическая синхронизация генераторов.
- Автоматическая частотная разгрузка.
- Моделирование асинхронных режимов в энергосистеме.

3.Лабораторные работы выполняются в полном объеме согласно методическим указаниям.

4.Рекомендуется выполненные задания печатать (формат А4). Текст и формулы набираются в редакторе Word. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.

5.Необходимо использовать титульный лист установленного образца.

6.В методических указаниях даны контрольные вопросы и содержание по каждой лабораторной работе.

7.При защите необходимо показать знание материала, изложенного в отчете.

Без защищенных выполненных заданий по лабораторным работам студент к экзамену не допускается.

Лабораторная работа №1

ПРИМЕНЕНИЕ MULTISIM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИКИ

1. Цель работы

В процессе выполнения работы изучить основные возможности программы MULTISIM и применить ее для моделирования режима короткого замыкания в простейшей электрической сети.

2. Общие сведения о программе MULTISIM

2.1 Общее описание программы

Электронная система моделирования Multisim из пакета ПО Electronics Workbench имитирует реальное рабочее место исследователя – лабораторию, оборудованную измерительными приборами, работающими в реальном времени. С ее помощью можно создавать, моделировать аналоговые и цифровые устройства любой степени сложности.

Multisim используется для создания схемы и ее тестирования/эмуляции из одной среды разработки, использующей алгоритм SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis — программа эмуляции со встроенным обработчиком схем) с возможностью настройки всех параметров эмуляции.

В комплект продуктов Electronics Workbench также входят средства для описания электрических схем, их эмуляции (SPICE, VHDL и Patented Co-simulation), для разработки и автоматической трассировки печатных плат.

В состав пакета входят следующие приложения:

- 1) Multicap – средство технического описания схем;
- 2) Multisim – интерактивный эмулятор схем, приложение для программного описания и последующего тестирования схем;
- 3) Ultiboard – приложение для разработки печатной платы;
- 4) Ultiroute – приложение для автоматизации размещения и соединения компонентов на схеме, рассчитанное на профессиональных пользователей.

Кроме традиционного анализа SPICE, Multisim позволят пользователям подключать к схеме виртуальные приборы. В Multisim есть специальные компоненты под названием «интерактивные элементы» (Interactive Parts), есть возможность изменять их во время эмуляции. При необходимости более сложного анализа Multisim предлагает более 15 возможностей анализа, а также функции описания и тестирования схемы.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные и активные элементы электрических цепей с линейными и нелинейными характеристиками. Элементы могут быть представлены моделями идеального или реального исполнения. Широкий спектр активных элементов позволяет реализовывать режимы работы электрических цепей при постоянных, синусоидальных и импульсных воздействиях.

В программе используется большой набор измерительных и анализирующих приборов. Обработка информации может производиться в аналоговом и цифровом форматах.

Панели виртуальных проборов представляют собой полные копии реально существующих современных приборов.

Общий вид интерфейса ПО Multisim 10 представлен на рис. 1.1.

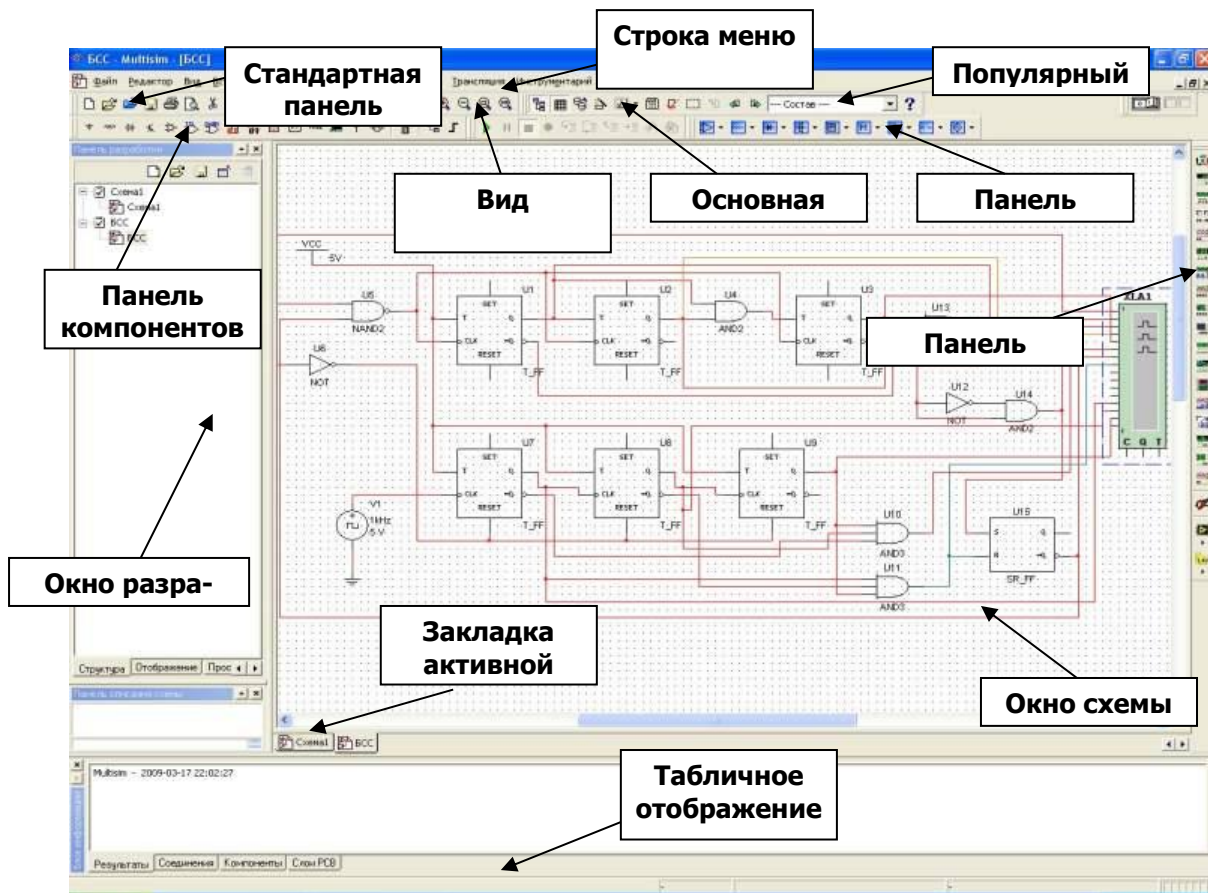


Рис. 1.1. Общий вид окна программы Multisim 10

Операции, выполняемые при анализе схем Multisim, позволяют реализовывать электрические схемы различной степени сложности при помощи следующих операций:

- выбора элементов и приборов из библиотек и базы данных;
- перемещения элементов и схем в любое место рабочего поля;
- поворота элементов и групп элементов на углы, кратные 90 градусам;
- копирования, вставки или удаления элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменения цвета проводников;
- выделения цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- изменения цвета рабочего поля и элементов схемы;
- ввода и редактирования текста на рабочем поле;
- изменения шрифта;
- одновременного подключения нескольких измерительных и анализирующих приборов и наблюдения их показаний на экране монитора;
- присвоения элементу условного обозначения;
- изменения параметров и свойств элементов;
- изменения характеристик и свойств измерительных и анализирующих приборов;
- изменения режимов работы устройства (схемы);
- графического анализа работы устройства (схемы);

- активизирования и скрытия увеличенного формата панели управления прибора;
- активизирования и скрытия отдельных обозначений элементов схемы;
- установления паролей для ограничения редактирования схем или отдельных блоков;
- формирования, редактирования и подключения отдельных блоков схем (подсхем, subcircuit), и др.

2.2 Обзор компонентов

Компоненты – это основа любой схемы, это все элементы, из которых она состоит. Multisim оперирует с двумя категориями компонентов: реальными (real) и виртуальными (virtual). У реальных компонентов, в отличие от виртуальных есть определенное, неизменяемое значение и свое соответствие на печатной плате. Виртуальные компоненты нужны только для эмуляции, пользователь может назначить им произвольные параметры.

Виртуальные компоненты помогают разработчикам при тестировании с помощью схем с известными значениями компонентов. Некоторые элементы схемы Multisim могут реагировать на действия пользователя. Изменение этих элементов сразу отражается на результатах эмулирования. Компоненты управляются с помощью клавиш, указанных под каждым элементом.

В общем случае процесс создания схемы начинается с размещения на рабочем поле Multisim компонентов из библиотеки программы. Подразделы библиотеки программы Multisim поочередно могут быть вызваны с помощью иконок, расположенных на панели Components (рис. 1.2). Описание их дано в таблице 1.1.

Подбор виртуальных компонентов можно осуществить напрямую с помощью панели Virtual (рис. 1.3). Для выбора требуемого элемента из библиотеки необходимо подвести курсор мыши к соответствующей иконке и нажать один раз на стрелку раскрывающегося списка, после чего выбрать в списке необходимый для работы элемент.

После этого необходимый для создания схемы значок (символ) компонента переносится на рабочее поле программы Multisim нажатием левой клавиши мыши.



Рис. 1.2. Панель компонентов



Рис. 1.3. Панель виртуальных элементов

Таблица 1.1. Библиотеки программы Multisim

Кнопка	Описание	Кнопка	Описание
	Источники сигнала (Source)		Индикатор (Indicator)
	Основные элементы (Basic)		Источники питания (Power Components)
	Диод (Diode)		Разное (Miscellaneous)
	Транзистор (Transistor)		Периферийные устройства (Advanced Peripherals)
	Аналоговое устройство (Analog)		Радиочастные устройства (RF)
	Логическое устройство (TTL)		Электромеханические устройства (Electromechanical)
	Цифровое устройство (CMOS)		Микроконтроллеры (MCU)
	Различные цифровые устройства (Miscellaneous Digital)		Иерархический блок (Hierarchical Block)
	Смешанные устройства (Mixed)		Шина (Bus)

2.2.1 Представление информации о компонентах в базе данных Multisim

- 1) База данных – название базы данных, в которой хранится компонент (Master, User, Corporate);
- 2) Группа (Group) – название группы, к которой принадлежит данный элемент;
- 3) Семейство (Family) – название семейства, к которому принадлежит данный элемент;
- 4) Компонент (Component) – название данного компонента;
- 5) Символ (Symbol) – символ (ANSI или DIN), который отображает компонент на схеме;
- 6) Назначение (Function) – описание компонента;
- 7) Model Manuf./ID (Footprint Manuf./Type) – изготовитель, номер и тип компонента.

Проводник компонентов (Component Browser) – это инструмент для выбора компонентов, чтобы разместить их на схеме (рис. 1.4). Горячая клавиша по умолчанию для размещения компонента – Ctrl-W или двойной щелчок мышью. Курсор мыши примет форму компонента, пока вы не выберете место на схеме для компонента. Для поиска просто начните набирать название компонента, и проводник автоматически подберет подходящие элементы. Кнопка «Поиск» (Search) открывает расширенный поиск.

В Проводнике компонентов отображается текущая база данных, в которой хранятся отображаемые элементы.

В Multisim они организованы в группы (groups) и семейства (families). Также в проводнике отображается описание компонента (поле Назначение Function), модель и печатная плата или производитель. Символ звездочки («*») заменяет любой набор символов. Например, среди результатов запроса «LM*AD» будут «LM101AD» и «LM108AD».

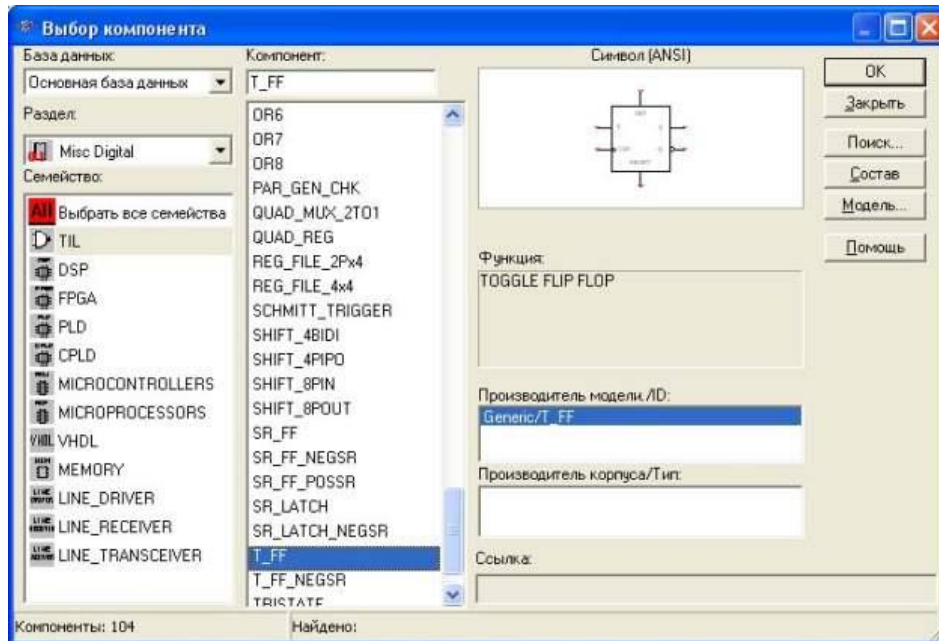


Рис. 1.4. Проводник компонентов Multisim

После выбора компонентов из базы данных они размещаются на схеме и соединяются между собой. Двойной щелчок по компоненту в проводнике прикрепит его к курсору. После этого можно поместить элемент на схему, просто кликнув в желаемом месте.

В это время и после установки компоненты можно повернуть. Чтобы это сделать в первом случае, нажмите Ctrl-R. Чтобы повернуть установленный компонент, выделите его и тоже нажмите Ctrl-R или выберите в контекстном пункте пункт «повернуть на 90°» по или против часовой стрелки.

Чтобы выбрать компонент, просто щелкните по нему мышью. Для выбора нескольких компонентов нажмите левую кнопку мыши и перемещайте мышью, рисуя прямоугольник выбора вокруг нужных компонентов. Выбранные компоненты обозначаются пунктирной линией. Можно выбрать отдельные элементы, например значение или метку компонента.

Выбор осуществляется одинарным щелчком мыши по нужному элементу. Клавиша Shift позволяет добавлять или снимать выделение с нескольких компонентов.

Компоненты можно заменять на другие с помощью их контекстного меню, пункта «Заменить компонент(ы)» (Replace Component(s)). Новые компоненты выбираются в открывшемся дополнительном окне проводника компонентов. Соединения компонентов после замены Multisim восстановит.

В Multisim используется безрежимный принцип работы: действие мышью зависит от положения курсора, нет необходимости выбирать инструмент или режим при работе в Multisim. Курсор изменяет свой вид в зависимости от того, на какой объект он наведен. Когда курсор расположен над разъемом (pin) или терминалом (terminal) компонента, левым щелчком мыши можно его соединить. Когда курсор расположен над

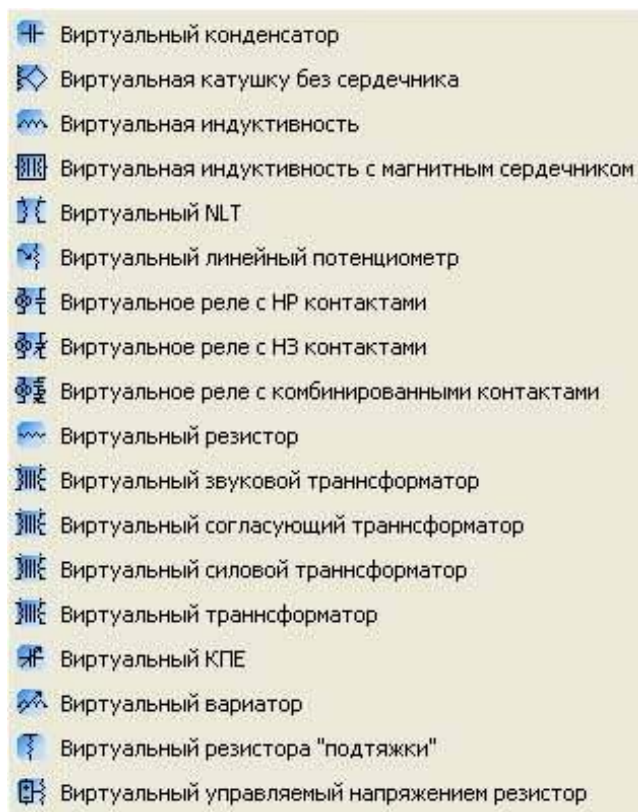
существующим проводом и рядом с разъемом или терминалом, соединение можно легко изменить. Чтобы начать вести соединяющий провод, кликните по разъему; чтобы завершить соединение, кликните по конечному терминалу.

После появления проводника Multisim автоматически присвоит ему номер в сети. Номера увеличиваются последовательно, начиная с 1. Заземляющие провода всегда имеют номер 0. Чтобы изменить номер соединения или присвоить ему логическое имя, просто дважды кликните по проводнику.

В Multisim есть функция автоматического соединения разъемов между собой и с проводниками. Чтобы добавить компонент в существующую сеть соединений, необходимо, чтобы его разъемы касались существующей сети. Также есть возможность вставить компонент внутрь существующей сети соединений. Для этого просто разместите выбранный элемент параллельно проводнику.

2.3 Основные компоненты программы Multisim

Рассмотрим назначение основных элементов, входящих в набор пакета программ Multisim. При рассмотрении приведем краткое описание компонентов, составляющих базу виртуальных элементов, которая необходима при моделировании схем в рамках изучаемых учебных курсов, а также описание основных логических компонентов.



Все элементы Multisim доступны для выбора и редактирования через Проводник компонентов или через соответствующие панели инструментов. Для удобства описания все рассматриваемые элементы разделены на группы по их назначению.

2.3.1. Аналоговые компоненты (analog)

Группа включает в себя набор операционных усилителей и компаратор напряжения на базе операционного усилителя (ОУ).

2.3.2 Основные элементы (basic)

В данной группе собраны все пассивные электротехнические компоненты, а также коммутационные устройства. В раздел входят пассивные компоненты, доступные в инструментальных средствах Multisim:

- резистор (потенциометр, управляемый напряжением), катушка индуктивности (вариометр);
- катушка (без сердечника и с магнитным сердечником);
- конденсатор (в т. ч. регулируемой емкости);
- различные типы реле и трансформаторов.

Аналогичные виртуальные компоненты можно выбрать через Проводник компонентов (группа Basic, семейство Basic Virtual).

2.3.3 Диоды (Diodes)

- Виртуальный диод
- Виртуальный стабилитрон

В состав группы входят виртуальная модель диода и стабилитрон (Zener diod).

2.3.4 Средства измерения (measurement)

Компоненты, входящие в состав группы, также можно выбрать через Проводник компонентов (Индикаторы).

Группа включает в себя следующие элементы:

вольтметр (характеризуется внутренним сопротивлением, режимом измерения постоянного или переменного тока). При измерении переменного напряжения (тока) прибор показывает действующее значение;

амперметр (характеризуется такими параметрами, как внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного тока). Амперметр показывает действующее значение тока;

пробник (индикаторная лампа) – светоиндикатор (пороговое напряжение, цвет свечения).

- Амперметр (гор+/-)
- Амперметр (гор-/+)
- Амперметр (вер+/-)
- Амперметр (вер-/+)
- Пробник
- Синий пробник
- Зеленый пробник
- Красный пробник
- Желтый пробник
- Вольтметр(гор+/-)
- Вольтметр(гор-/+)
- Вольтметр (вер+/-)
- Вольтметр (вер-/+)

2.3.5 Разное (Misc)

Группа включает набор дополнительных компонентов различного назначения из различных групп библиотеки компонентов. Дополнительные виртуальные элементы можно выбрать, используя Проводник компонентов (группа Misc).

2.3.6 Источники питания

- Источник питания AC
- Источник питания DC
- Цифровая ЗЕМЛЯ
- ЗЕМЛЯ
- 3-хфазный генератор (треуг)
- 3-хфазный генератор (звезда)
- TTL питание (Vcc)
- CMOS питание (Vdd)
- Цифровое питание (Vee)
- CMOS питание (Vss)

- Источник тока AC
- Источник напряжения AC
- Источник AM
- Источник синхросигнала тока
- Источник синхросигнала напряжения
- Источник тока DC
- Источник экспоненциального тока
- Источник экспоненциального напряжения
- Источник тока с FM
- Источник напряжения с FM
- Источник кусочно-линейного тока
- Источник кусочно-линейного напряжения
- Импульсный источник тока
- Импульсный источник напряжения

Включает источники питания, доступные в инструментальных средствах EWB, источники фиксированного напряжения, применяемые в логических схемах, а также 3-фазные генераторы.

Основные элементы:

- *источник переменного синусоидального напряжения AC* (эффективное значение напряжения, частота, фаза);
- *батарея (DC)* – источник постоянного напряжения, длинная полоска соответствует положительной клемме;
- *заземление* – точка в схеме, относительно которой производится измерение потенциалов.

2.3.7 Виртуальные компоненты с ограничениями

Группа компонентов с ограничением предельных параметров, при превышении которых виртуальный элемент «выходит из строя».

2.3.8 Источники сигналов

Включает источники тока, источники частотной и амплитудной модуляции, позволяющие анализировать схемы каналов связи, различные управляемые источники.

Основные элементы данной группы:

- *источник переменного синусоидального тока/напряжения* (эффективное значение тока/напряжения, частота, фаза);
- *генератор амплитудно-модулированных колебаний* (напряжение и частота несущей, коэффициент и частота модуляции);
- *генератор однополярных прямоугольных импульсов тока/напряжения* (амплитуда, частота, коэффициент заполнения);
- *источник постоянного тока* (ток);
- *генератор фазомодулированных колебаний* (напряжение и частота несущей, индекс и частота модуляции).

2.3.9 Логические элементы

Данная группа элементов доступна для выбора только через Проводник компонентов (группа Misc digital, семейство TIL).

Базовые логические элементы данной группы включают в себя:

1) элемент «И».

Данный элемент выполняет операцию логического умножения сигналов на входе. Активным сигналом для элемента И является сигнал логической единицы. Сигнал логической единицы будет присутствовать на выходе элемента только в том случае, если ни на один из его входов не будет поступать сигнал логического нуля;

2) элемент «И-НЕ».

Построен путем совмещения логического элемента «И» с инвертором путем присоединения логического элемента «НЕ» к выходу элемента «И»;

3) элемент «ИЛИ».

Элемент выполняет операцию логического сложения на входе. Активным сигналом для элемента «ИЛИ» является сигнал логической единицы. Если даже на одном из входов элемента присутствует сигнал логической единицы, то независимо от состояния остальных входов элемента на его выходе будет присутствовать высокий логический уровень;

4) элемент «ИЛИ-НЕ».

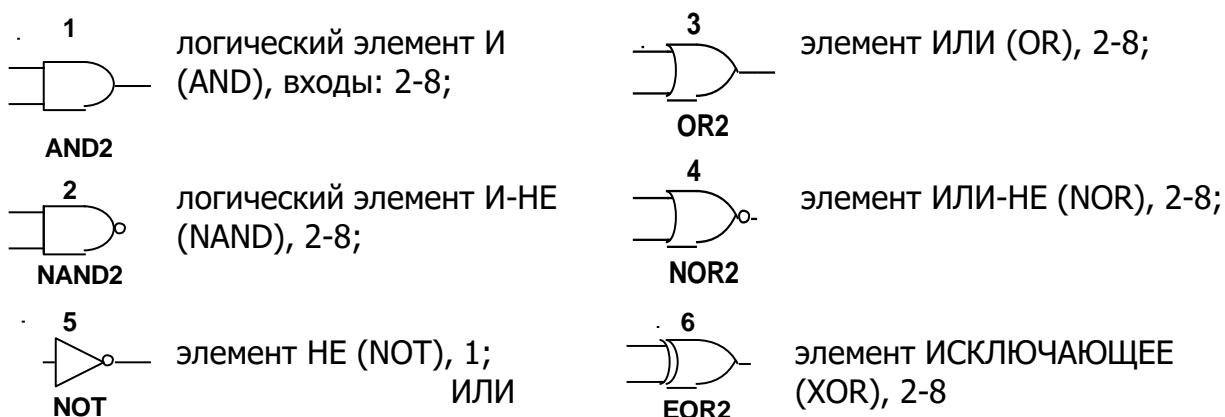
Построен путем совмещения логического элемента «ИЛИ» с инвертором путем присоединения логического элемента «НЕ» к выходу элемента «ИЛИ»;

5) элемент «НЕ» – инвертор.

Сигнал на выходе данного элемента всегда противоположен сигналу на его входе;

6) элемент «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ».

Сигнал логической единицы на выходе элемента будет иметь место, если на входах присутствуют сигналы обоих логических уровней, независимо от их процентного соотношения. Если на всех входах элемента поданы сигналы одного и того же логического уровня, то на выходе будет наблюдаться сигнал логического нуля.



два установочных входа R и S, два переключающих входа J и K и вход синхронизации C.

2.4 Проверка правил электротехники (ERC)

В результате проверки правил электротехники (Electrical Rules Check) генерируется отчет с подробной информацией об ошибках (например, выходной разъем соединен с разъемом питания) и несоединенных разъемах. После соединения всех элементов проверьте схему на основании правил в диалоговом окне ERC.

В зависимости от схемы вам могут потребоваться предупреждения об определенных типах соединений, ошибки в случае наличия других и ОК для всех остальных. Тип соединений и сообщений устанавливается на закладке.

Правила ERC (ERC Rules) в диалоговом окне Electrical Rules Check.

Можно выполнить Проверку всей схемы или определенного участка. Во время проверки все некорректности отображаются в панели результатов в нижней части экрана, а на схеме отображаются маркеры.

При щелчке по ошибке экран центрируется на ней и увеличивается масштаб.

Закладки Опции проверки (ERC Options) и Правила проверки (ERC Rules) предназначены для настроек.

Для начала проверки:

1) выбирается пункт «Инструменты/Проверка правил электротехники» (Tools/Electrical Rules Check), откроется окно проверки (Electrical Rules Check);

2) настраиваются параметры отчета на закладке «Опции проверки» (ERC Options);

3) устанавливаются параметры проверки на закладке «Правила проверки» (ERC Options);

4) нажимается кнопка ОК. Формат отображения результатов устанавливается в разделе «Результаты» (Output) на закладке ERC Options.

2.5 Подсхемы и иерархические блоки

Multisim предназначен в том числе и для работы со схемами разной сложности. Для создания модульной структуры схемы и абстрагирования сложных схем служит концепция нескольких листов (multi-sheet design), подсхемы (ПС, sub-circuits – SC) и иерархические блоки (ИБ, Hierarchical Blocks – HB). Подсхемы полезны, чтобы сделать схему более компактной и в то же время хранить ее в одном файле. Иерархические блоки лучше подходят для использования в нескольких схемах, потому что они хранятся в разных файлах. Иерархические блоки и подсхемы функционально не отличаются друг от друга, единственное различие между ними – это способ хранения на диске.

Существуют два способа сделать подсхему или иерархический блок.

Первый: выделить часть схемы и выбрать пункт «Разместить/Разъемы/ИБ/Разъем ПС» (Place/Connectors/HB/SC Connector). Второй метод описан ниже.

Новый иерархический блок (второй метод):

1) выберите «Разместить/Новый иерархический блок» (Place/New Hierarchical Block) и укажите имя файла;

2) кнопка «Обзор» (Browse) позволяет выбрать путь и имя для сохранения файла иерархического блока;

3) введите требуемое число входных и выходных разъемов и нажмите ОК. Появится «неявный» образ нового иерархического блока, выберите его местоположение и кликните мышью;

4) дважды кликните на новом блоке и выберите «Редактировать ИБ/ПС» (Edit HB/SC) в появившемся диалоговом окне «Иерархический блок/Подсхема» (Hierarchical Block/Subcircuit);

5) разместите и соедините компоненты нового иерархического блока;

6) соедините ИБ с элементами схемы;

7) сохраните схему.

Добавление новой подсхемы (второй метод):

1) выберите пункт «Разместить/Новая подсхема» (Place/New Subcircuit). Откроется окно «Имя подсхемы» (Subcircuit Name);

2) введите требуемое имя для схемы, например «источник питания», и нажмите ОК. Курсор примет вид «неявной» схемы показывая, что вы можете ее разместить;

3) кликните на нужном месте для схемы (вы можете ее переместить позже, если необходимо). На схеме появится подсхема в виде окошка с указанным именем подсхемы;

4) дважды кликните на новой подсхеме и выберите «Редактировать ИБ/ПС» (Edit HB/SC) в появившемся диалоговом окне «Иерархический блок/Подсхема» (Hierarchical Block/Subcircuit). Появится пустое окно подсхемы;

5) разместите и соедините компоненты новой подсхемы;

6) выберите пункт «Разместить/Разъемы/ИБ/Разъем ПС» (Place/Connectors/HB/SC Connector), поместите и соедините новый разъем. Разместите все необходимые разъемы. Когда вы вернетесь на основную схему, на иконке подсхемы будут все добавленные разъемы;

7) соедините подсхему с другими компонентами.

2.6 Использование интерактивного эмулятора

После подготовки схемы рекомендуется составить ее описание (соответствующее окно вызывается из меню Tools > Description box editor).

Перед началом эмуляции внимательно все проверьте. У всех схем должен быть источник и заземление. Когда все готово, нажмите кнопку запуска эмулятора или F5. Запустится интерактивная эмуляция.

Настройки интерактивной эмуляции можно изменять в меню «Эмуляция/Настройки интерактивной эмуляции» (Simulate/Interactive Simulation Settings). Шаг по времени генерируется автоматически.

Чтобы посмотреть результаты, воспользуйтесь динамическим пробником. Просто нажмите иконку пробника, и курсор мыши будет выполнять его роль: при наведении на любой сегмент сети отобразятся следующие данные:

- напряжение (мгновенное, амплитуда, среднеквадратичное и постоянный сдвиг);
- частота.

Результаты эмуляции также отображаются на виртуальных приборах.

3. Начало работы в программе MULTISIM

Исследование резистивного делителя напряжения.

На рис. 1.5.а представлена простейшая схема делителя напряжения на двух резисторах $R1$ и $R2$. К цепи приложено напряжение источника постоянного тока E . Через резисторы протекает ток I (последовательное включение), на резисторе $R1$ падает напряжение $U1$, на резисторе $R2$ - напряжение $U2$:

Задание. Собрать схему делителя, представленную на рис. 1.5. Для этого:

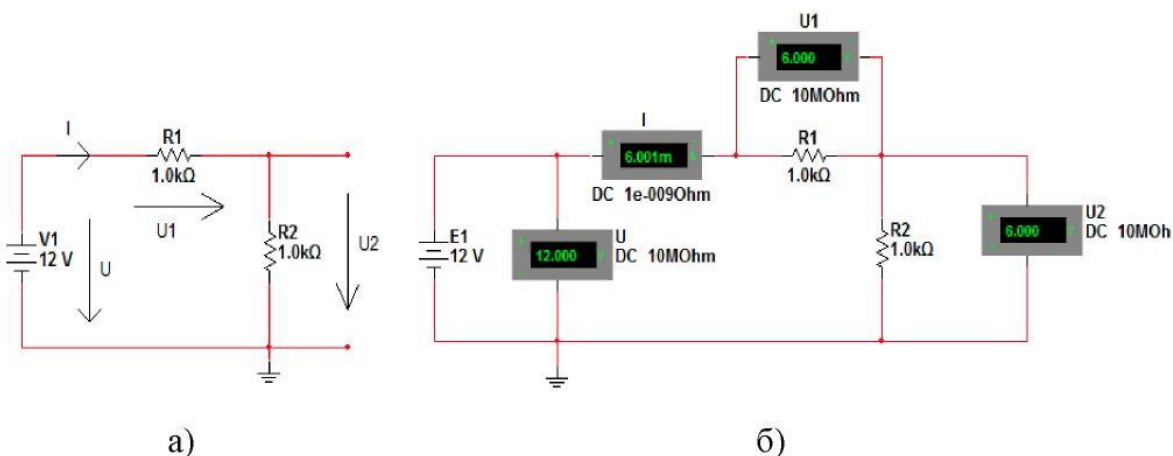


Рис. 1.5. Схема делителя напряжения.

Из группы компонентов «Источники в» выбрать «Источник DC» и поместить его на рабочий стол, расположив, как показано на рис. 1.5.6. Если щелкнуть дважды ЛКМ по источнику, то можно задать в появившемся окне другую величину напряжения. Оставим 12 В, как на рис.1.5.

Из группы компонентов «Пассивные компоненты» выбрать 2 резистора по 1 кОм и поместить их на рабочий стол. Второй резистор повернуть командой «Повернуть по часовой на 90°» {Ctrl + R} и расположить, как показано на рис. 1.5. Если щелкнуть дважды ЛКМ по сопротивлению, то можно задать в появившемся окне другую величину сопротивления. Оставим 1 кОм, как на рис.1.5.

Из группы компонентов «Индикаторы» выбрать горизонтальный амперметр AMMETER_H, два вертикальных вольтметра VOLTMETER_V и один горизонтальный вольтметр VOLTMETER_H. Поместить их на рабочий стол и расположить, как показано на рис. 1.7. Их ориентацию выводов следует выбирать исходя из названия в группе, например, «Амперметр горизонтальный» или «Амперметр вертикальный», чтобы табло измерительного прибора находилось в нужном положении. Щелкнув дважды ЛКМ по прибору, задать величины внутренних сопротивлений приборов (очень большое сопротивление для вольтметра и очень маленькое сопротивление для амперметра), выбрать вид измеряемого тока DC (постоянный) и их обозначения в соответствии с рис. 1.5. После этого соединить компоненты проводниками.

Всегда надо подключать заземление, как показано на рис. 1.5. Заземление GROUND находится в группе «Источники».

Провести экспериментальную проверку полученных результатов.

Для этого: Запустить моделирование кнопкой «Пуск» (рис. 1.6)



Рис. 1.6. Кнопка пуска процесса моделирования.

Убедиться, что напряжение на выходе делителя, т.е. на сопротивлении R2 уменьшилось в два раза по сравнению с напряжением источника питания.

Если в схему хотите внести изменения, то кнопку «Пуск» переключите в исходное состояние.

4. Моделирование управления индикаторами

В следующих лабораторных работах будет выполняться управление выключателями. Для отображения их положений «Включено» и «Отключено» используются специальные индикаторы. Здесь необходимо изучить схему управления этими индикаторами.

Задание. Собрать схему модели управления индикаторами в программе Multisim, представленную на рисунке 1.7.

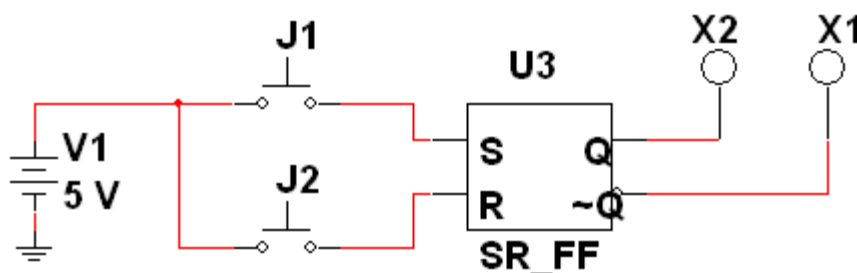


Рис. 1.7. Модель управления индикаторами.

Выбор компонентов для модели:

V1 – источник питания (меню Источники, семейство POWER_SOURCES, компонент DC_POWER);

J1, J2 – кнопки (меню Электромеханические компоненты, семейство MOMENTARY_SWITCHES, компонент PB_NO);

U3 – триггер (меню Цифровые микросхемы, семейство TTL, компонент

SR_FF);

X1, X2 – индикаторы (меню Индикаторы, семейство PROBE, компоненты PROBE_GREEN и PROBE_RED).

Выполнить необходимые настройки. Запустить моделирование кнопкой «Пуск». Убедиться в правильном управлении индикаторами.

5 Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики с помощью программы Multisim и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненной лабораторной работы.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Назначение программы MULTISM.

6.2. Для кого предназначена программа MULTISM, для теоретиков или экспериментаторов?

6.3. Какие электрические величины возможно измерять в MULTISM?

6.4. Как можно проверить правильную работу модели?

6.5. Как выполняется настройка сопротивлений модели?

6.6. Как выполняется настройка источника переменного напряжения в модели.

6.7. Ваши предложения по применению программы MULTISM для решения задач в энергетике.

7 Содержание отчета

7.1. Наименование лабораторной работы.

7.2. Цель выполнения лабораторной работы .

7.3. Компоненты программы MULTISM для моделирования электрической сети.

7.4. Измерительные приборы в MULTISM.

7.5. Модель для управления индикаторами положений выключателя.

7.6. Результат проведенного эксперимента.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа №2

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

1. Цель работы

Изучить классификацию, требования, схемы и принцип действия устройств полуавтоматической самосинхронизации.

2 Общие сведения

Процесс включения синхронного генератора на параллельную работу с другими генераторами или с энергосистемой называется синхронизацией.

Различают синхронизацию автоматическую, при которой все операции производятся специальными автоматическими устройствами без вмешательства персонала, и полуавтоматическую, при которой действия персонала сведены к минимуму и ограничиваются только регулированием частоты вращения синхронизируемого генератора, в то время как другие операции производятся автоматически.

Автоматизация всех операций при синхронизации позволяет исключить тяжелые последствия ошибочных действий персонала. Для включения синхронных генераторов на параллельную работу в настоящее время применяют два способа: самосинхронизация и точная синхронизация.

При включении синхронного генератора на параллельную работу способом самосинхронизации он невозбужден и разворачивается турбиной до скорости близкой к синхронной. При определенном скольжении и ускорении его ротора по отношению к ротору эквивалентного генератора энергосистемы включается в сеть, после чего сразу же подается возбуждение и происходит втягивание ротора в синхронизм.

Включение невозбужденного генератора в сеть эквивалентно для энергосистемы внезапному трехфазному короткому замыканию за сопротивлением генератора.

Согласно ПУЭ способ самосинхронизации, как основной способ включения на параллельную работу, может предусматриваться для:

- турбогенераторов мощностью до 3МВт;
- турбогенераторов с косвенным охлаждением мощностью более 3 МВт, работающих непосредственно на сборные шины, если периодическая составляющая переходного тока при включении в сеть способом самосинхронизации не превосходит $3,5I_{г.ном}$;
- турбогенераторов с косвенным охлаждением, работающих в блоке с трансформаторами.
- турбогенераторов с косвенным охлаждением, работающих в блоке с трансформаторами.

Согласно ПУЭ, при аварийных режимах в электрической системе включение на параллельную работу всех генераторов вне зависимости от системы охлаждения и мощности может производиться способом самосинхронизации.

На тепловых электростанциях операция самосинхронизации турбогенераторов осуществляется, как правило, полуавтоматически. Регулирование частоты вращения генератора и её подгонка к под синхронной возлагаются на персонал. Включение генератора в сеть производится автоматически устройством самосинхронизации при заданном значении скольжения.

3. Устройство полуавтоматической самосинхронизации.

На рисунке 2.1 приведена схема устройства полуавтоматической самосинхронизации применяемой на тепловых электростанциях.

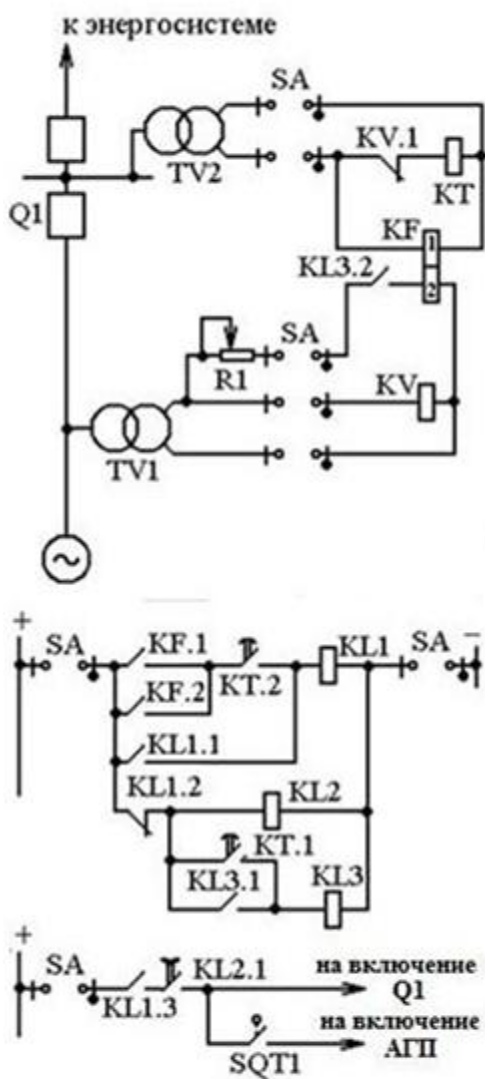


Рис. 2.1. Схема полуавтоматической самосинхронизации.

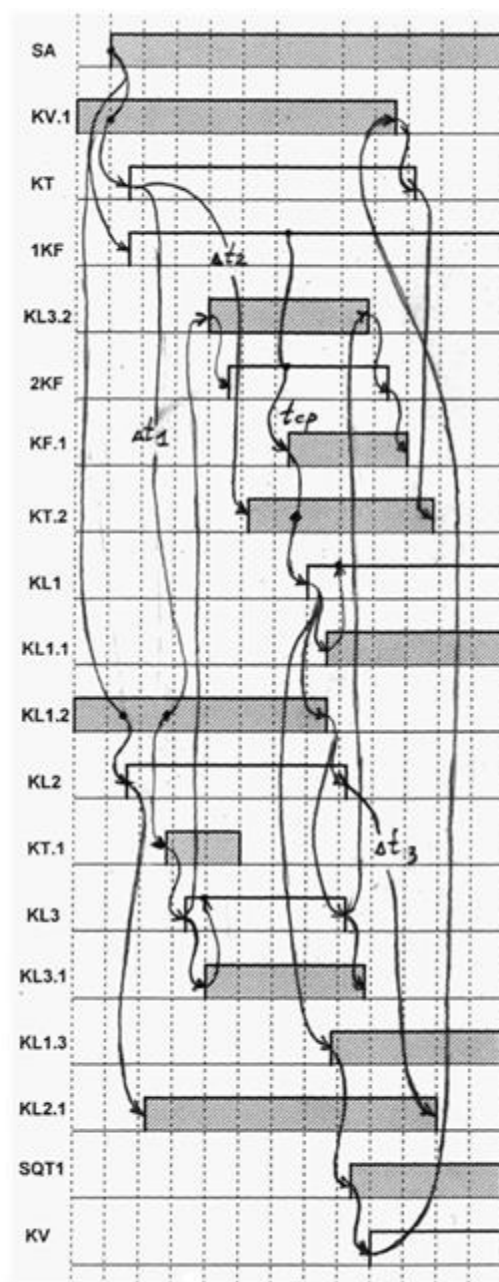


Рис. 2.2. Диаграмма работы

Основным элементом устройства является реле разности частот КФ, контролирующее разность частот напряжений генератора и сети. В качестве реле КФ широко применяется реле частоты типа ИРЧ – 01А, обмотка 2 которого подключается последовательно с реостатом R1 к трансформатору напряжения TV1 включаемого генератора. Обмотка 1 подключается к трансформатору напряжения сети TV2. Устройство полуавтоматической синхронизации вводится в работу ключом SA, замыкающим цепи трансформаторов напряжения TV1 и TV2, цепи оперативного постоянного напряжения и выходные цепи. При анализе работы схемы необходимо использовать рисунке 5.2. Здесь затемненные прямоугольники обозначают замкнутое состояние соответствующих контактов. А не затемненные прямоугольники показывают,

что на обмотки реле подано напряжение, которое вызывает их срабатывание.

Реле ИРЧ – 01А в момент подачи напряжения на его обмотки может кратковременно замыкать свои контакты. Чтобы исключить неправильное действие устройства, обмотки 1 и 2 реле КF подключаются к трансформаторам TV1 и TV2 не одновременно: сначала подключается обмотка 1, а затем через время в несколько секунд, устанавливаемое на проскальзывающем контакте реле времени КТ.1 подключается обмотка 2. Подключение обмотки 2 осуществляется с помощью промежуточного реле КL3. Кроме того, вводится дополнительная выдержка на контакте КТ.2 в цепь контактов КF.1 и КF.2, исключающая неправильное срабатывание устройства в момент подачи напряжения на обмотку 2 реле КF.

Реле КF срабатывает при частоте скольжения равной частоте срабатывания и подает питание на выходное реле устройства КL1, которое с помощью контакта КL1.1 самоудерживается, а контактом КL1.3

замыкает цепь включения выключателя Q1. После включения выключателя генератора включается автомат гашения поля генератора, подающий возбуждение на обмотку ротора генератора. Возбужденный генератор окончательно втягивается в синхронизм.

Самоудержание выходного реле КL1 обеспечивает надежное включение выключателя и АГП генератора. Промежуточное реле КL2, имеющее задержку при возврате, ограничивает длительность сигнала на включение выключателя и АГП. Во избежание опасного воздействия номинального напряжения трансформатора TV1 возбужденного генератора на обмотку 2 реле КF, не рассчитанную на это напряжение, цепь обмотки 2 размыкается контактом КL3.2 после возврата реле КL3, вызванного размыканием контакта КL1.2. Реле КV, предназначено для исключения подачи номинального напряжения возбужденного генератора на обмотку 2 реле КF до включения генератора в сеть, что может произойти вследствие ошибочных действий персонала. Размыкающий контакт реле КV размыкает цепь реле времени КТ и исключает, таким образом, возможность срабатывания реле КL3.

4 Моделирование устройства полуавтоматической самосинхронизации в программе Multisim

Модель составляется для одной фазы электрической схемы (рис.2.3.). Энергосистема в модели представлена источником V4. В синхронизируемом генераторе X1 частота регулируется. Измерение частоты выполняется частотомером XFC1. С помощью выключателя Q1 синхронизируемый генератор X1 подключается к системе V4. К устройству разности частот X2 подключено реле частоты КF, которое срабатывает в диапазоне частот от 49,5 Гц до 50,5 Гц.

Выбор компонентов для модели:

X1 – синхронизируемый генератор с регулируемой частотой (иерархический блок IE_SinGenUpF);

X2 – устройство разности частот (иерархический блок IE_ReleR_F_I).

V4 – источник питания 50 гц, 60 В (меню Источники, семейство POWER_SOURCES, компонент AC_POWER);

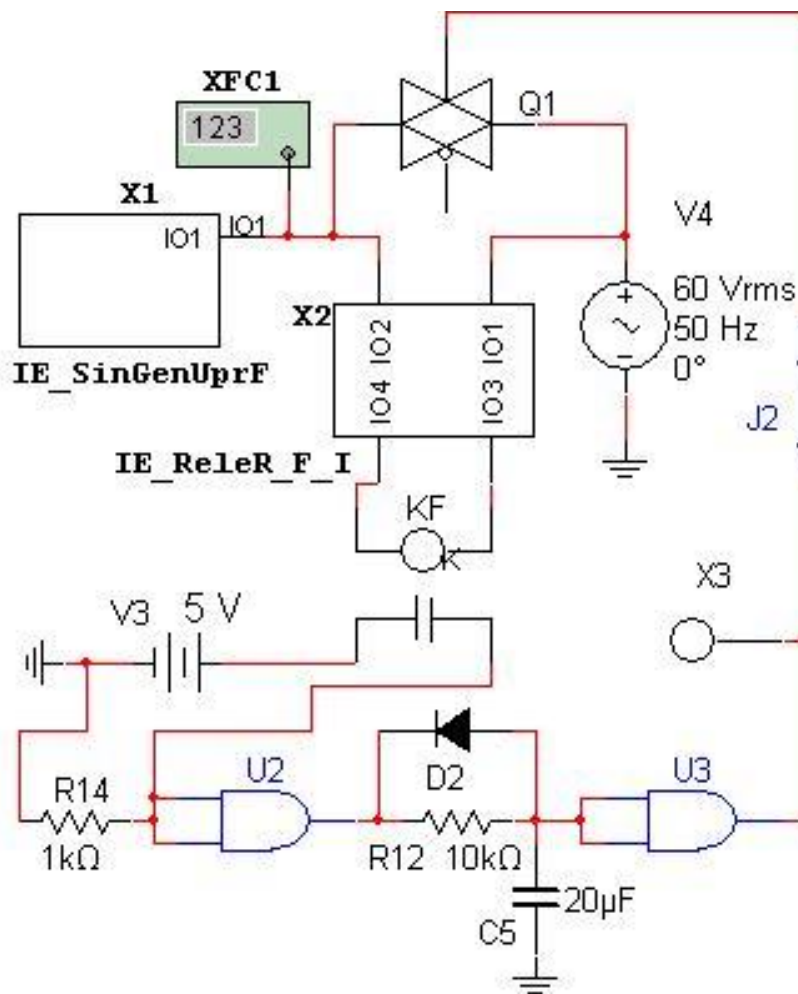


Рисунок 2.3 – Упрощенная компьютерная модель устройства полуавтоматической самосинхронизации

KF – реле частоты (меню Пассивные компоненты, семейство BASIC_VIRTUAL, компонент RELAY1B_VIRTUAL, настройки: 1 мН, 10 кОм, 0.33 мА, 0.32 мА);

V3 – постоянный источник питания 5 В (меню Источники, семейство POWER_SOURCES, компонент DC_POWER);

U2, U3 – логические элементы И(меню логические микросхемы CMOS, семейство TinyLogic_5V, компонент NC7S08);

D2 – диод (меню Диоды, семейство DIODES_VIRTUAL, DIODE_VIRTUAL).

Q1 – выключатель (меню Аналого-цифровые компоненты, семейство MIXED_VIRTUAL, компонент ANALOG-SWITCH-VIRTUAL)

На логических элементах U2 и U3 выполнено реле времени. После замыкания контактов реле частоты KF реле времени через некоторое время подает сигнал на включение выключателя Q1. Этот сигнал можно наблюдать с помощью индикатора X3. Ключ J2 используется при наладке модели.

Порядок испытания модели:

- 1.Разомкнуть ключ J2.
- 2.Включить процесс моделирования.
- 3.Открыть окно частотомера (двойной щелчок по XFC1).
- 4.Запустить синхронизируемый генератор (два щелчка клавишей 3 с интервалом 1 секунда).

5 Убедиться в возможности регулирования частоты. Частота дискретно увеличивается при каждом нажатии клавиши Z (английская клавиатура). Уменьшение частоты выполняется этой же клавишей, но при нажатой клавише Shift. По состоянию контактов реле RF можно наблюдать его срабатывание в диапазоне частот 49,5 – 50,5 Гц.

6. Установить частоту менее 49,5 Гц.

7. Замкнуть ключ J2.

8. Увеличить частоту выше 49,5 Гц (но меньше 50,5 Гц).

9. Сработает реле частоты RF, затем реле времени через некоторое время включает выключатель Q1.

10. Можно наблюдать, что частота синхронизируемого генератора станет равной 50 Гц. Втягивание в синхронизм состоялось.

Для повторения опыта надо разомкнуть ключ J2 и повторить пункты 6-10.

5 Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики по теме лабораторной работы и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненной лабораторной работы.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Требования, предъявляемые к устройствам синхронизации генераторов?

6.2. Назовите преимущества и недостатки самосинхронизации синхронных генераторов.

6.3. В каких случаях применяется самосинхронизация?

6.4. Какое назначение реле разности частот в устройстве полуавтоматической синхронизации?

6.5. Какое назначение реле времени в устройстве полуавтоматической самосинхронизации?

6.6. Назначение реле KV в устройстве полуавтоматической самосинхронизации?

6.7. Замеченные недостатки устройства полуавтоматической самосинхронизации генераторов и предложения по его совершенствованию.

7 Содержание отчета

7.1. Наименование и цель лабораторной работы.

7.2. Назначение синхронизации.

7.3. Принципиальная схема устройств полуавтоматической самосинхронизации.

7.4. Диаграмма работы устройства полуавтоматической самосинхронизации.

7.5. Упрощенная компьютерная модель устройства полуавтоматической самосинхронизации.

7.6. Результаты проведенного эксперимента в программе Multisim.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА

1. Цель работы

Изучить классификацию, требования, схемы и принцип действия устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР) и частотного автоматического повторного включения (ЧАПВ).

2. Общие сведения

Согласно ГОСТ 13109 – 97 «Норма качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» нормально допустимое значение отклонения частоты не должно превышать $\pm 0,2$ Гц, а предельно допустимое значение отклонения частоты не должно превышать $\pm 0,4$ Гц.

Снижение частоты в энергосистеме приводит к снижению производительности механизмов собственных нужд электростанций, что ведет к уменьшению мощности паровых турбин и к дальнейшему снижению частоты. Этот процесс носит название «лавина частоты».

Уменьшение частоты вращения возбудителя, расположенного на одном валу с генератором, снижает эффективность АРВ. Реактивная мощность генератора снижается, что приводит к уменьшению напряжения в сети. При «лавине частоты» возникает «лавина напряжения».

Аварийное снижение частоты в энергосистеме, вызванное внезапным возникновением значительного дефицита активной мощности, протекает очень быстро – в течение нескольких секунд. На рисунке 3.1 показан характер изменения частоты в энергосистеме.

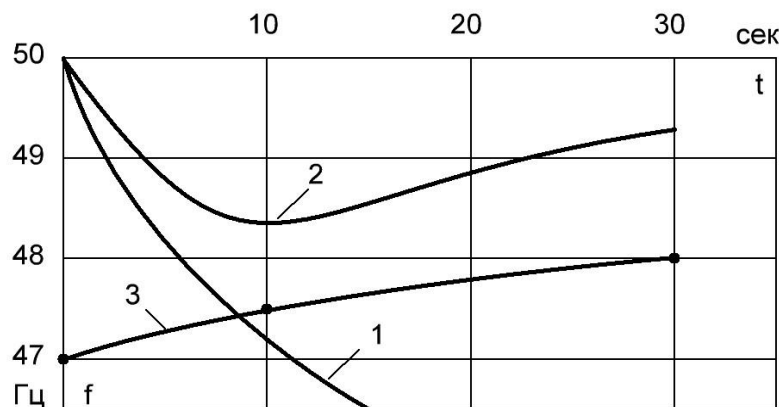


Рисунок 3.1 - Изменение частоты в энергосистеме

Здесь 1 – изменение частоты в аварийных режимах при отсутствии АЧР; 2 – изменение частоты при действии АЧР; 3 – граница допустимой зоны снижения частоты в энергосистеме

Дежурный персонал, не успевает принять каких – либо мер и ликвидация аварийного режима возлагается на устройства автоматики. Для предотвращения развития аварии используются все резервы активной мощности, имеющиеся на электростанциях.

При недостатке резерва мощности для восстановления частоты выполняют отключение части наименее ответственных потребителей с помощью АЧР.

Действие АЧР сопровождается экономическим ущербом для потребителей, но при развале энергосистемы технико-экономический ущерб будет значительно больше.

Требования к АЧР:

1. Частотная разгрузка должна выполняться после максимального использования имеющегося в энергосистеме вращающегося резерва на тепловых электростанциях.

2. Мощность, отключаемая устройствами АЧР, должна быть достаточной для ликвидации максимального реально возможного дефицита мощности, чтобы не допустить снижение частоты ниже границы допустимых значений (рис.3.1).

3. Устройства АЧР должны выполняться таким образом, чтобы полностью исключить возможность возникновения лавины частоты и напряжения.

4. Устройства АЧР должны размещаться таким образом, чтобы обеспечить ликвидацию любого дефицита мощности независимо от места его возникновения и характера развития аварии.

5. Мощность потребителей, отключаемых АЧР, должна по возможности приближаться к возникающим дефицитам мощности, т.е. система АЧР должна быть самонастраивающейся.

6. Автоматическая частотная разгрузка должна обеспечивать подъём частоты до значений 49 – 49,5 Гц, при которых энергосистема может длительно работать нормально. Дальнейший подъём частоты осуществляется автоматическим включением резервных гидрогенераторов или же мероприятиями, проводимыми диспетчером энергосистемы.

7. Автоматическая частотная разгрузка не должна ложно срабатывать в случаях кратковременного снижения частоты вызванных КЗ, а так же циклами АПВ и АВР.

8. Действие АЧР должно удовлетворять требованию минимизации ущерба при отключении потребителей, т.е. в первую очередь должны отключаться менее ответственные потребители.

Для обеспечения свойств самонастройки АЧР выполняется многоступенчатой, состоящей из ряда очередей разгрузки. АЧР делится на две категории.

1. АЧРІ – быстродействующая разгрузка, предназначенная для останова снижения частоты в допустимых пределах. Эта категория имеет уставки по частоте в диапазоне 49,2-47,5 Гц с интервалом 0,1 Гц между очередями. Уставка по времени всех очередей АЧРІ 0,15-0,3 с для устранения ложной работы релечастоты в переходном режиме.

Суммарная мощность, которая может быть отключена устройствами АЧРІ:

$$P_{АЧРІ} \geq \Delta P + 0,05P_{\text{н0}},$$

где ΔP – максимальный возможный дефицит мощности в энергорайоне (отключение наиболее мощного блока) или в энергосистеме (отключение наиболее мощной электростанции);

$P_{\text{н0}}$ – суммарная мощность энергорайона или энергосистемы при частоте 50 Гц.

2. АЧРІІ – медленнодействующая разгрузка, предназначенная для восстановления частоты до нормального значения. Реле частоты всех очередей имеют уставку по частоте 49,1 Гц. Уставка по времени для очередей различна от 5 с. до 39 с с интервалом 2-3 с. АЧРІІ начинает действовать, когда все очереди АЧРІ уже сработали, и производит разгрузку мелкими порциями, обеспечивая подъем частоты.

Уставка по частоте всех очередей АЧРІІ устанавливалась на уровне 48,8 Гц. В настоящее время рекомендуется 49,1 Гц для первых очередей АЧРІІ с уставками по времени 5, 7, 9, 11 с. Эти очереди отключают потребителей, не подключенных к АЧРІ, и называются несовмещенными очередями АЧРІІ. Следующие очереди с уставками 13-39с рекомендуется выполнять совмещенными и принимать их уставки по частоте 49,0 Гц ; 48,9 Гц (с возвратом +0,2 Гц); 48,8 Гц (с возвратом +0,3 Гц); 48,7 Гц (с возвратом +0,4 Гц).

Общий объем мощности несовмещенной АЧРІІ

$$P_{\text{АЧРІІ}} \geq 0,1P_{\text{н0}} .$$

Общий объем совмещенной АЧРІІ должен составлять не менее 30% объема АЧРІ.

Распределение общего объема несовмещенной АЧРІІ по очередям равномерное. Объемы очередей совмещенной АЧРІІ для каждой уставки по частоте можно определить по формуле:

$$\Delta P\% = 2k_{\text{н}}\Delta f ,$$

где
$$\Delta P\% = \frac{\Delta P}{P_{\text{н0}}} \cdot 100\% ;$$

$k_{\text{н}}=2$ - регулирующий коэффициент нагрузки ;

$$\Delta f = \begin{aligned} &0,5 = (49,2 - 48,7) - \text{для уставки } 49,0 \text{ Гц,} \\ &0,8 = (49,2 - 48,4) - \text{для уставки } 48,9 \text{ Гц,} \\ &1,2 = (49,2 - 48,0) - \text{для уставки } 48,8 \text{ Гц,} \\ &1,7 = (49,2 - 47,5) - \text{для уставки } 48,7 \text{ Гц.} \end{aligned}$$

3. АЧР подстанции

Упрощенные схемы устройств АЧРІ АЧРІІ представлены на рисунке 3.2 (а – функциональная схема цепей переменного тока и б – оперативные цепи постоянного тока). На рисунке 3.2,а показаны измерительные реле частоты KF1, KF2 и KF3, реле времени КТ и промежуточные реле KL1, KL2 и KL3, отключающие потребителей выключателями Q1, Q2 и Q3.

В данном устройстве реализованы две очереди АЧРІ (используют реле частоты KF1 и KF2) и одна очередь АЧРІІ (использует реле частоты KF3 и реле времени КТ).

При снижении частоты сначала первая очередь отключает выключатель Q1, а затем вторая выключатель Q2. В лабораторной работе условно считается, что после работы второй очереди АЧРІ снижение частоты прекратилось.

Далее продолжает работать АЧРІІ. После срабатывания реле времени КТ промежуточное реле отключает выключатель Q3. В лабораторной работе условно считается, что после работы АЧРІІ частота восстановилась до 49-49,5 Гц.

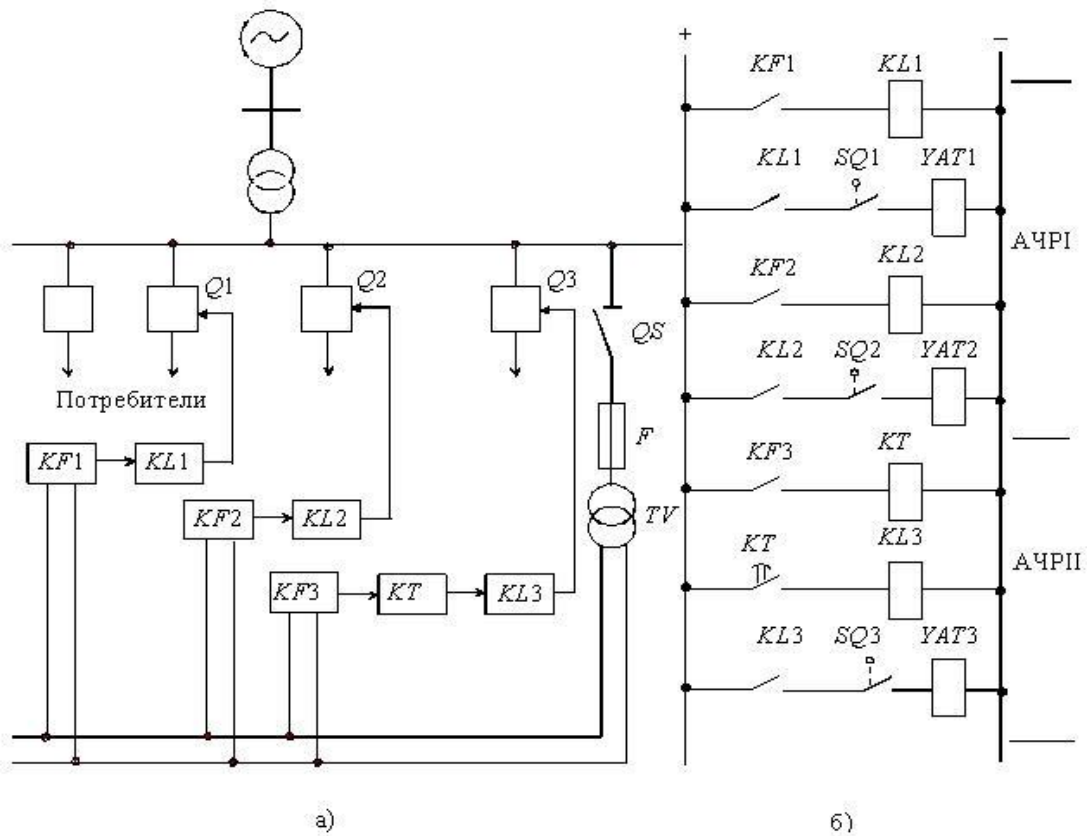


Рисунок 3.2 - Схемы устройств АЧР I и АЧР II подстанции:
а – функциональная, б - оперативные цепи

4. Моделирование АЧР подстанции

Вначале выполним моделирование снижение частоты в энергосистеме.

Основные данные:

$P_{НО} = 1$ – суммарная мощность нагрузки с учетом наброса (о.е.);

$P_{ТО} = 0,7$ – суммарная мощность всех турбин в момент наброса нагрузки (о.е.);

$b_f = 1 \div 3$ – коэффициент регулирующего эффекта нагрузки по частоте;

$T_j = 5 \div 10, \text{сек}$ – суммарная инерционная постоянная всех турбоагрегатов системы.

Мощность нагрузки уменьшается при снижении частоты согласно выражению:

$$P_H = P_{НО} (1 + b_f \Delta f_*),$$

где $\Delta f_* = \frac{\Delta f}{50} < 0$ – изменение частоты в о.е.

Дефицит мощности после наброса нагрузки:

$$\Delta P_0 = P_{НО} - P_{ТО} = 1 - 0,7 = 0,3$$

Предполагается, что перед набросом нагрузки турбины были полностью загружены. Поэтому регуляторы не смогут увеличивать мощность турбин.

Дифференциальное уравнение изменения частоты в системе:

$$T_j \Delta f_*' + b_f \Delta f_* + \Delta P_0 = 0$$

Пусть $T_j = 7 \text{ сек}$, $b_f = 1$ и $\Delta P_0 = 0,3$, тогда уравнение после подстановки и преобразования принимает вид:

$$\Delta f_*' = -\frac{1}{7} \Delta f_* - \frac{1}{7} 0,3$$

На рисунке 3.3 представлена схема модели получения затухания частоты при набросе нагрузки. Здесь, полученное изменение частоты в относительных единицах пересчитывается в именованные единицы, а затем вычисляется изменившаяся частота.

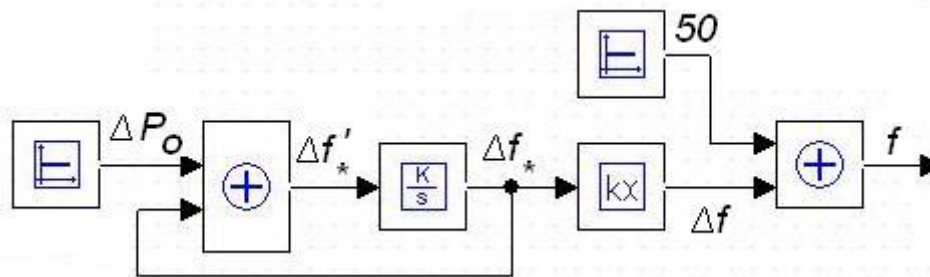


Рис. 3.3 Схема модели изменения частоты при набросе нагрузки.

На рисунке 3.4 показана модель АЧРІ и АЧРІІ, составленная в соответствии с рисунком 3.2. К модели изменения частоты (рисунок 6.3) добавлены:

1 – реле времени, которое через 10 сек., отключаемую мощность нагрузки третьей очереди передает дальше.

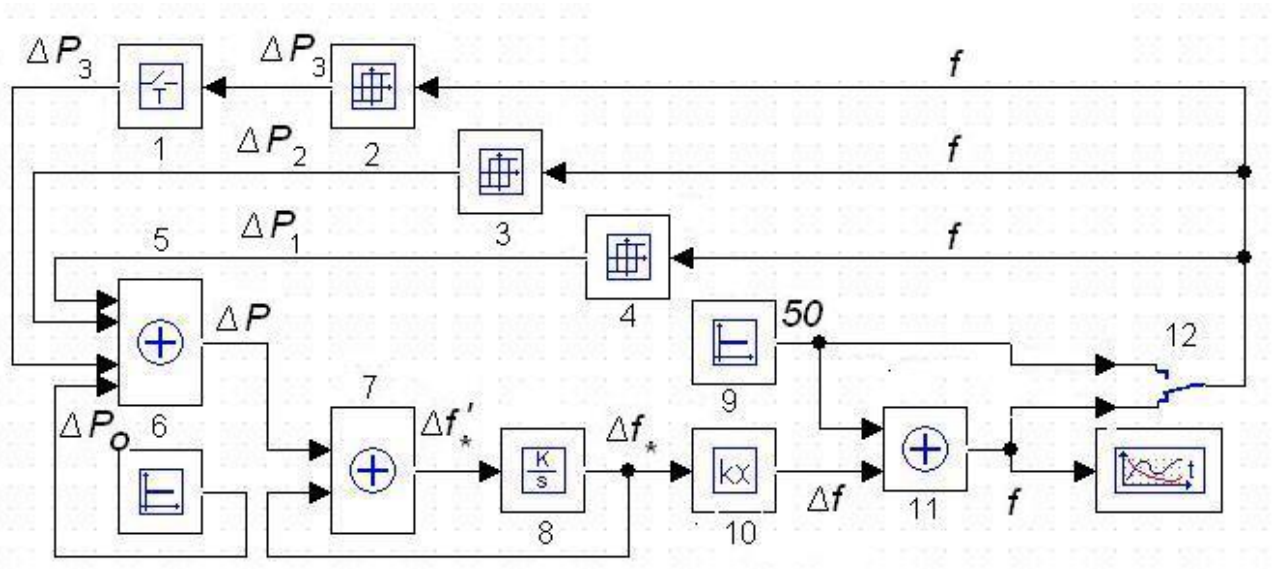


Рис. 6.4 Схема модели АЧРІ и АЧРІІ.

2, 3 и 4 – совмещенные блоки, содержащие реле частоты и формирователи отключаемых мощностей соответствующих очередей.

5 – сумматор, в котором формируется дефицит мощности в ходе работы АЧР.

12 – переключатель, который при верхнем положении контакта выводит АЧР из работы и можно наблюдать, как изменяется частота в этом случае.

Настройки блоков:

1 – 10.	7 - -0.143 -0.143
2 - 49 55 0.1 0	8 - 1
3 - 47 55 0.1 0	9 - 50
4 - 48 55 0.1 0	10 - 50
5 - -1 -1 -1 1	11 - 1 1
6 - 0.3	12 – нижнее положение

После моделирования процесса работы АЧР можно посмотреть, как уменьшалась и восстанавливалась частота.

5 Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики по теме лабораторной работы и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненной лабораторной работы.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Назначение АЧР.
- 6.2. Как работает АЧР I?
- 6.3. Как работает АЧР II?
- 6.4. Как работает схема, приведенная на рисунке 4.2?
- 6.5. Как изменяется частота на модели при неработающей АЧР?
- 6.6. Как изменяется частота на модели при работе АЧР?
- 6.7. Ваши предложения по применению программы MBTU для исследования работы АЧР.

7. Содержание отчета

- 7.1. Наименование и цель лабораторной работы.
- 7.2. Требования к АЧР.
- 7.3. Принцип работы АЧР.
- 7.4. Схема АЧР, предназначенная для стенда.
- 7.5. Схема модели АЧР в программе MBTU.
- 7.6. Результаты проведенного эксперимента в программе MBTU.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа № 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ РЕЖИМОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

1. Цель работы

В ходе выполнения работы изучить процессы в электрической сети при асинхронном режиме работы. Выяснить основные признаки асинхронного хода. Познакомиться с устройствами АЛАР. Следует обратить внимание на недостатки применяемых устройств АЛАР и варианты их дальнейшего совершенствования.

2. Общие сведения

Устройства АЛАР предназначены для выявления и ликвидации асинхронного режима синхронных генераторов в энергосистеме.

Асинхронный режим является следствием нарушения устойчивости параллельной работы генерирующих источников или потери возбуждения синхронным генератором.

Для энергосистемы (4.1,а) Рассмотрим двухмашинный асинхронный режим по упрощенной схеме замещения (рис. 4.1,в), к которой преобразуется схема замещения рис. 4.1,б путем приведения сопротивлений нагрузки $Z_{н1}$ и $Z_{н2}$ к зажимам ЭДС и отбрасывание их как не влияющих на ток в электропередаче. В необходимых случаях учитывается отбор мощности Z_H (см. рис. 4.1,г).

При двухмашинном асинхронном режиме происходит периодическое изменение угла δ_{12} между ЭДС \dot{E}_1 и \dot{E}_2 несинхронных источников от нуля до 360° с частотой скольжения

$$f_{s1} = f_1 - f_2; \quad f_{s2} = f_2 - f_1 = -f_{s1}.$$

При синхронных качаниях $\delta_{12} < 180^\circ$, а взаимное скольжение f_s периодически меняет знак, колеблясь около нуля.

Рассмотрим эти признаки асинхронного режима.

Периодические изменения действующего значения напряжения и угла между векторами напряжений в различных точках электропередачи (качания напряжений).

При асинхронном режиме вектор \dot{E}_1 проворачивается относительно вектора \dot{E}_2 , принятого неподвижным и постоянным по величине. На рис. 4.2,а для четырех значений $\delta_{12} = 0^\circ(a)$, $90^\circ(b)$, $180^\circ(c)$ и $270^\circ(d)$ построены векторные диаграммы напряжений в произвольных точках А и В однородной электропередачи с сопротивлением Z_s .

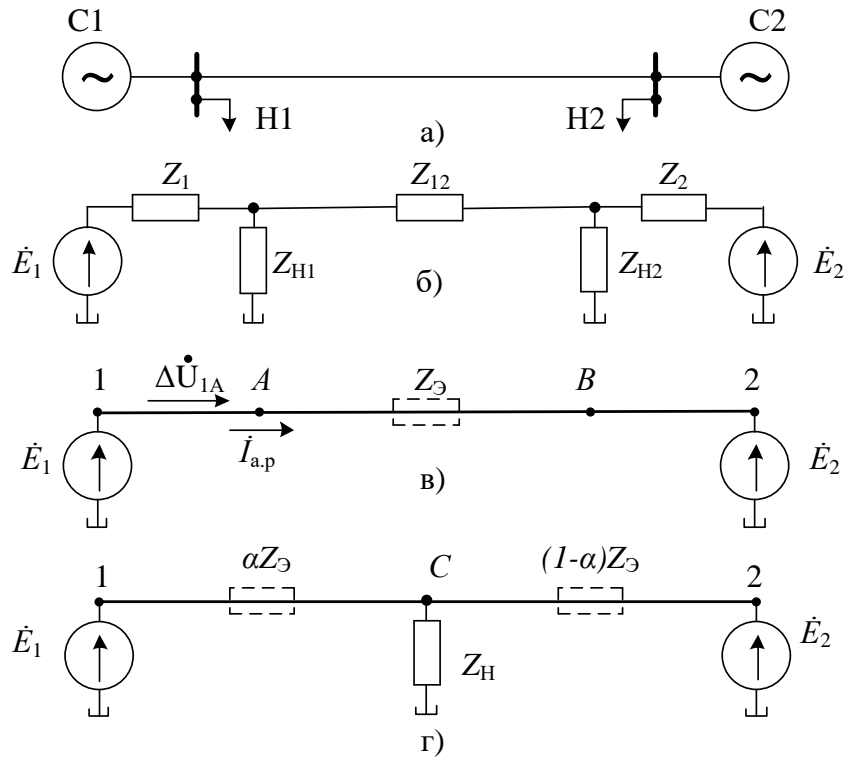
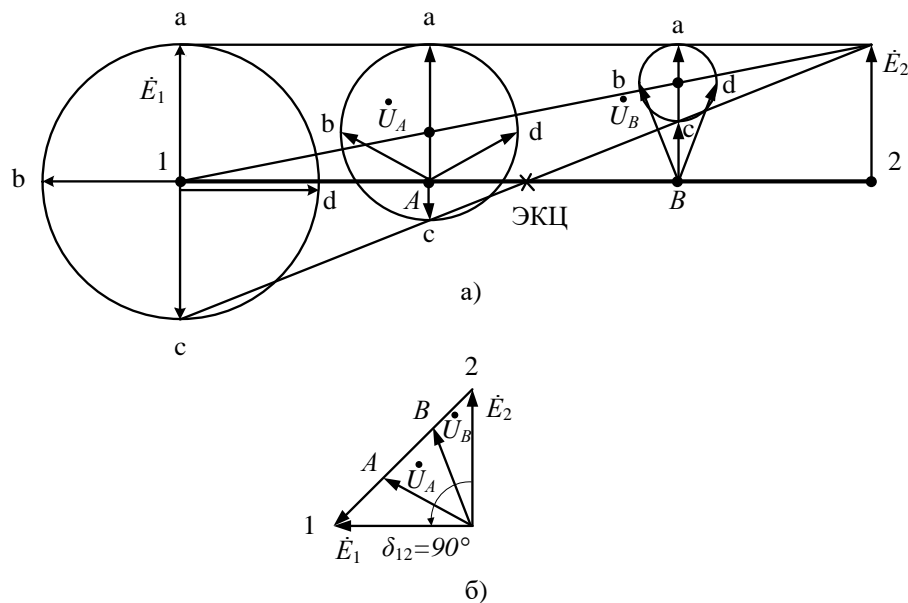


Рис. 4.2. Схемы для анализа асинхронного режима

- а – схема электроэнергетической системы;
- б – схема замещения;
- в – упрощенная схема замещения;
- г – схема замещения с отбором мощности;


 Рис. 4.3. Распределение напряжения по линии при асинхронном режиме
 а – векторные диаграммы в различных точках линии при четырех значениях угла δ_{12} ; б – векторная диаграмма при $\delta_{12}=90^\circ$

Векторная диаграмма на рис. 4.3,б построена для угла $\delta_{12} = 90^\circ$. Падение напряжения на участке электропередачи, например 1А:

$$\Delta \dot{U}_{1A} = (\dot{E}_1 - \dot{E}_2) Z_{1A} / Z_\Sigma,$$

где Z_{1A} и Z_Σ – сопротивление участка 1А и всей однородной электропередачи соответственно, а напряжение в точке А:

$$\dot{U}_A = \dot{E}_1 - \Delta \dot{U}_{1A}.$$

По диаграммам, приведенным на рис. 4.2, построены на рис. 4.4 кривые изменения величин и фаз напряжений в различных точках электропередачи $\alpha = A, B$, ЭЦК (электрический центр качаний) за один цикл качаний, где U_α – напряжение в соответствующей точке, $\delta_{1\alpha}$ – угол между \dot{E}_1 и \dot{U}_α . В следующем цикле эти изменения повторяются.

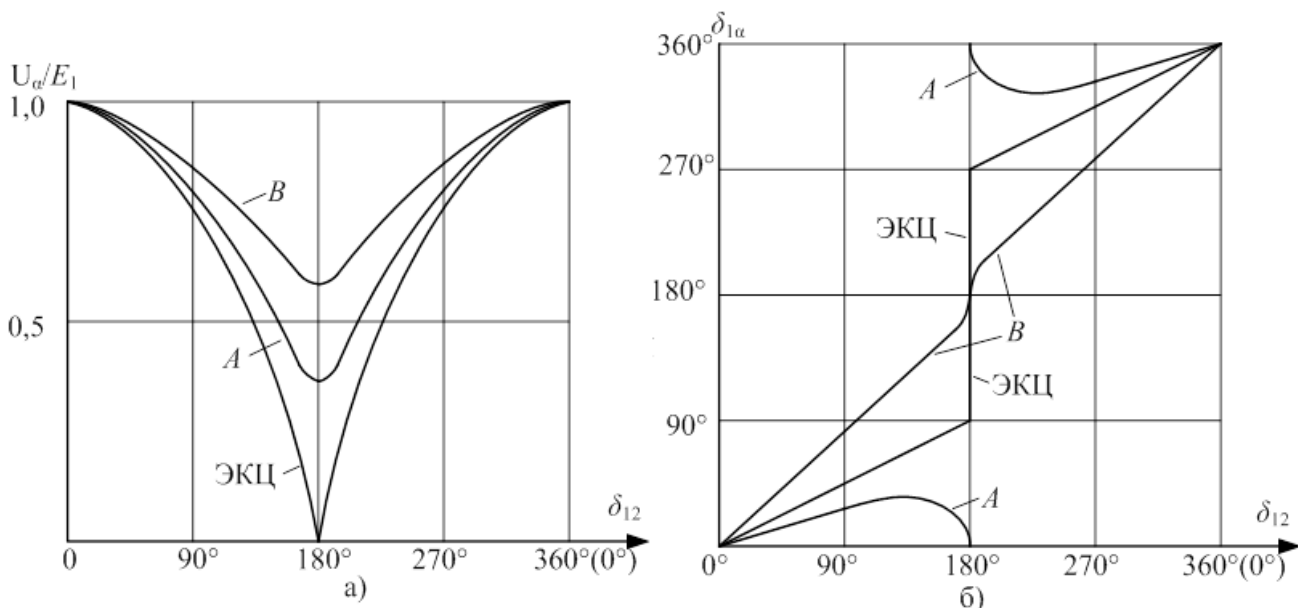


Рис.4.4. Изменение при асинхронном режиме напряжений в точках А, В, ЭЦК
а – значения; б – фазы относительно \dot{E}_1

Из приведенных рисунков следуют особенности качания напряжений при асинхронном режиме:

- напряжение в любой точке электропередачи достигает минимального значения при $\delta_{12} = 180^\circ$, причем этот минимум тем меньше, чем ближе находится рассматриваемая точка к электрическому центру качаний ЭЦК, в котором напряжение снижается до нуля; электрическая удаленность ЭЦК от E_1

$$Z_{1\text{ЭЦК}} = Z_\Sigma \frac{E_1}{E_1 + E_2};$$

- векторы напряжений двух произвольных точек электропередачи (3.3) ршают друг относительно друга полные провороты, если эти точки лежат по разные стороны от ЭЦК, и совершают качания, не превышающие $\pm 90^\circ$, если точки лежат по одну сторону от ЭЦК;
- при $\delta_{12} = 0$ и $\delta_{12} = 180^\circ$ векторы напряжений всех точек электропередачи коллинеарны.

Периодические изменения (качания) тока во всех элементах, связывающих несинхронные ЭДС.

Ток асинхронного режима (рис. 4.5)

$$\dot{I}_{a.p} = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{Z_{\Sigma}} = f(\delta_{12}).$$

Зависимость $I_{a.p} = f(\delta_{12})$ показана кривой 1 на рис. 4.6, где

$$I_{a.p180^\circ} = \frac{E_1 + E_2}{Z_{\Sigma}}; \quad I_{a.p0^\circ} = \frac{E_1 - E_2}{Z_{\Sigma}},$$

$I_{a.p.п}$ - переменная составляющая огибающей полного тока.

При $E_1 = E_2$ ток $I_{a.p} = I_{a.p180^\circ} \sin \frac{\delta_{12}}{2}$ (кривая 2).

Зависимость тока от времени аналогична зависимости от δ_{12} , но отличается от нее в реальных условиях из-за изменения скольжения в течение цикла асинхронного режима.

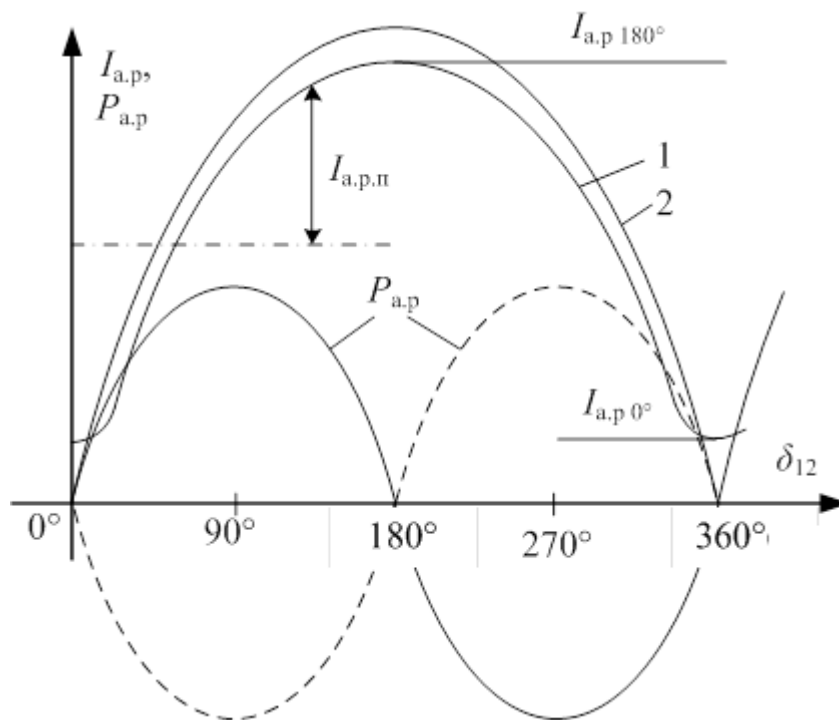


Рис.4.5. Изменение тока асинхронного режима и активной мощности в электропередаче за один цикл качаний

Угол сдвига фаз φ_{α} между током $\dot{I}_{a.p}$ и напряжением \dot{U}_{α} при переходе δ_{12} через 180° равен углу φ_Z сопротивления электропередачи Z_{Σ} , если точка α находится между \dot{E}_1 и ЭЦК, и $\varphi_{\alpha} = 180^\circ + \varphi_Z$, если точка α находится между \dot{E}_2 и ЭЦК.

Периодические изменения сопротивления на зажимах реле, установленных в различных точках электропередачи.

Сопротивление на зажимах реле в некоторой точке α электропередачи

$$Z_{p\alpha} = \frac{\dot{U}_{\alpha}}{I_{a.p}} = R + jX = f(\delta_{12}).$$

Зависимость $Z_{p\alpha} = f(\delta_{12})$ для точек A , B и ЭЦК электропередачи показаны на рис. 4.6. Они имеют вид окружностей, центр которых расположен на направлении вектора Z_{Σ} . При $E_2/E_1=1,0$ окружности вырождаются в прямые. Сопротивление $Z_{p\alpha}$ принимает минимальное значение при $\delta_{12} = 180^\circ$:

$$Z_{p\alpha} = U_{\alpha \min} / I_{a.p \max},$$

когда вектор $Z_{p\alpha}$ пересекает направление вектора Z_{Σ} . Изменение величины $Z_{p\alpha}$ за один цикл качаний значительно больше, чем изменение U_{α} .

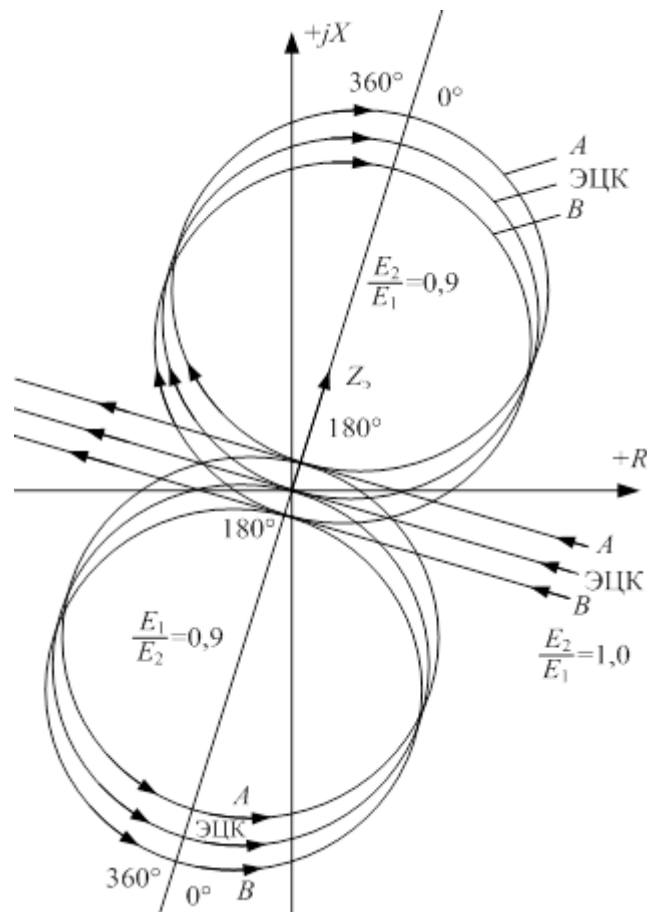


Рис.4.6. Изменение сопротивления на зажимах реле в точках A , ЭЦК, B электропередачи за один цикл качаний при различных соотношениях E_1 и E_2

Периодические изменения (качания) активной мощности в электропередаче.

Наличие активной составляющей R_{Σ} в эквивалентном сопротивлении Z_{Σ} приводит к потере активной мощности, т.е. значение мощности в электропередаче зависит от точки измерения α :

$$P_{\alpha} = \sqrt{3}U_{\alpha}I_{a,p} \cos \varphi_{\alpha} = f(\delta_{12}, \alpha).$$

Зависимости $P_{\alpha} = f(\delta_{12})$ в различных точках представляют собой синусоиды, смещенные относительно начала координат тем дальше, чем больше R_{Σ}/X_{Σ} . Для электропередач высокого напряжения это отношение весьма мало ($R_{\Sigma}/X_{\Sigma} < 0,1$) и можно принимать

$$P_{\alpha} \approx P_{a,p} \approx \frac{E_1 E_2}{X_{\Sigma}} \sin \delta_{12}.$$

Зависимость $P_{a,p} = f(\delta_{12})$ показана на рис. 3.4. Первую половину цикла качаний (сплошная кривая) источник 1 работает в генераторном режиме ($P_{a,p} > 0$), во вторую – в двигательном ($P_{a,p} < 0$). Средняя активная мощность за цикл асинхронного режима

мала. Отличительной особенностью зависимости $P_{a,p} = f(\delta_{12})$ при любом знаке скольжения является изменение знака мощности при $\delta_{12} \approx 180^\circ$, когда ток достигает максимума, а напряжение – минимума.

3. Моделирование в программе MBTU

Необходимо повторить моделирование с применением программы MBTU.

4. Моделирование асинхронных режимов

При моделировании асинхронных режимов будем использовать рисунки и описания из предыдущего раздела.

На рисунке 4.7 выполнено построение векторной диаграммы для $\delta_{12} \approx 90^\circ$ асинхронного режима.

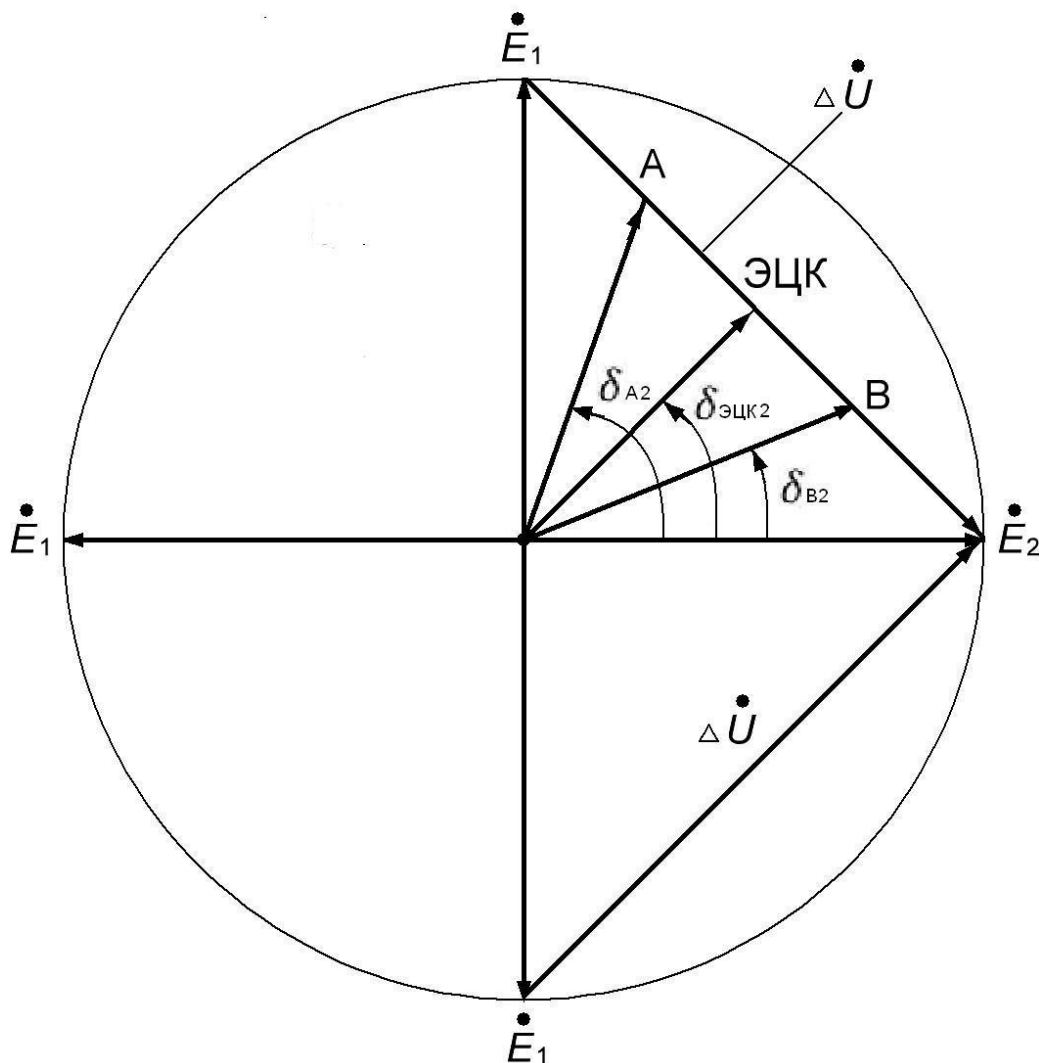


Рис. 4.7. Векторная диаграмм асинхронного хода для двухмашинной системы.

Будем считать, что модули векторов E_1 и E_2 равны 1, а вектор E_2 неподвижен. Угол между ними будем обозначать δ_{12} .

Пусть разность частот равна:

$$\Delta f = f_1 - f_2 = 51 - 50 = 1 \text{ Гц}$$

Тогда угловая скорость скольжения:

$$\omega_s = 2\pi\Delta f = 2\pi$$

Взаимный угол (используется при составлении модели):

$$\delta_{12} = \omega_s t$$

ЭДС несинхронного источника:

$$E_1^* = E_m(\cos\omega_s t + j\sin\omega_s t) = \cos\omega_s t + j\sin\omega_s t$$

ЭДС синхронного источника:

$$E_2^* = E_m = 1$$

Выберем на линии точку N , для которой справедливо выражение (используется при составлении модели):

$$n = \frac{Z_{N2}}{Z_{12}}$$

Определим напряжение в этой точке:

$$U_N^* = E_2^* - n\Delta U^* = E_2^* - n(1 - \cos\omega_s t - j\sin\omega_s t) = 1 - n + n\cos\omega_s t + j\sin\omega_s t$$

Определим модуль вектора напряжения в точке N (используется при составлении модели):

$$U_{mN} = \sqrt{(1 - n + n\cos\omega_s t)^2 + (n\sin\omega_s t)^2}$$

Определим угол вектора напряжения в точке N относительно вектора E_1 (используется при составлении модели):

$$\delta_{N2} = \arccos \frac{1 - n - n\cos\omega_s t}{U_{mN}}$$

На рисунке 4.8 показана схема модели асинхронного режима для определения напряжений в различных точках линии электропередачи. Расположение точки N задается значением n от 0 до 1.

Необходимо убедиться, что получаемые результаты соответствуют рисункам 2.3,а и 2.3,б.

5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада по исследованию асинхронных режимов на конференцию и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ по различным источникам информации.

По результатам работы составить презентацию для доклада.

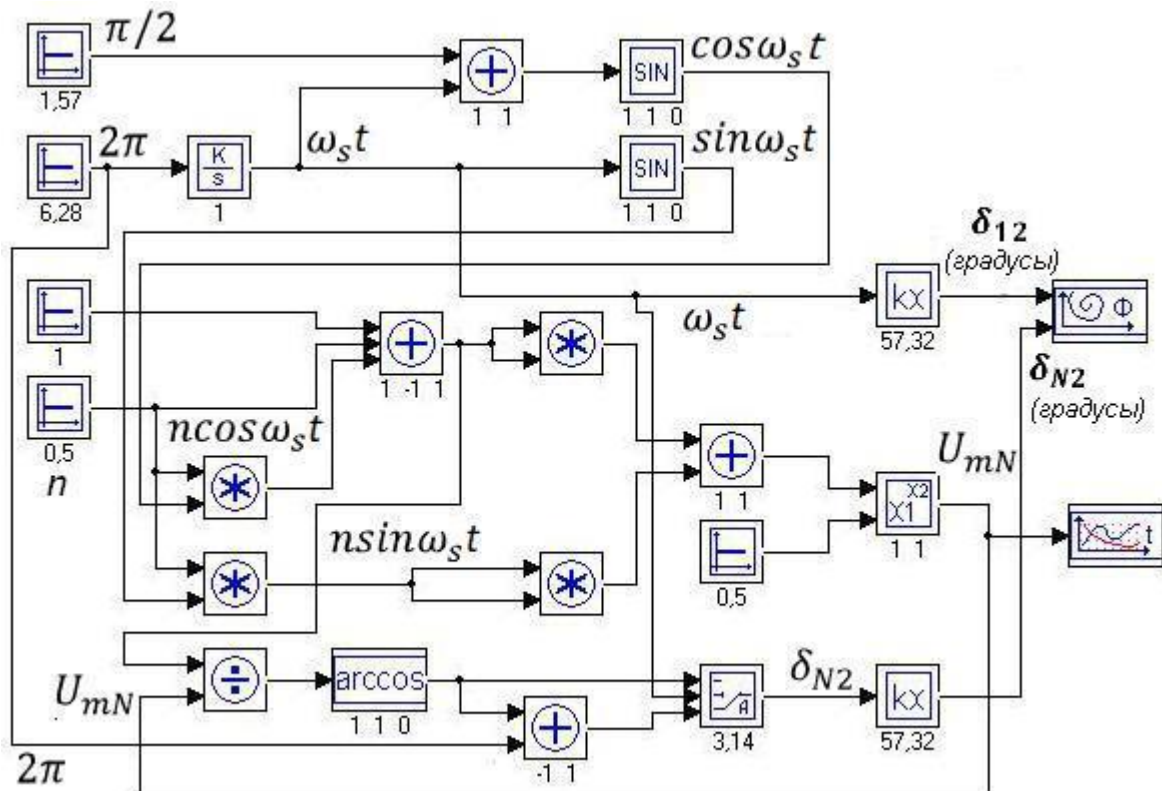


Рис. 4.8. Схема моделирования напряжений линии электропередачи в асинхронном режиме.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Причины возникновения асинхронного режима?
- 6.2. Какие признаки асинхронного хода существуют?
- 6.3. Понятие электрического центра колебаний.
- 6.4. Как изменяется активная мощность в линии электропередачи?
- 6.5. Как изменяются сопротивления на зажимах реле при асинхронном ходе?
- 6.6. Какой получен результат компьютерного моделирования АР?
- 6.7. Ваши предложения по исследованию асинхронного режима?

7. Содержание отчета

- 7.1. Наименование и цель практического занятия.
- 7.2. Перечень отличительных признаков асинхронного режима.
- 7.3. Векторные диаграммы асинхронного режима.
- 7.4. Графики асинхронного режима.
- 7.5. Схема компьютерной модели АР.
- 7.6. Графики полученные на компьютерной модели.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов А.Д. Автоматизация энергетических систем/ А.Д. Дроздов, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, М.М. Савин // – М.: Энергия. – 1977. – 440с.
2. Засыпкин А.С. Автоматизация энергетических систем. Общая противоаварийная автоматика/ А.С. Засыпкин// -Новочеркасск: ЮРГТУ.- 2008. – 132с
3. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем/ А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко// - Москва: Издательский дом МЭИ. – 2010. – 325с.
4. Леньков Ю.А. Сборник лабораторных работ/ Ю. А. Леньков, А. К. Ашимова, А.С. Барукин//. СПб: СЗТУ, 2005. – 74с.
5. Клавдиев А.А. Теория автоматического управления/ А.А. Клавдиев. - СПб: СЗТУ, 2005. – 74 с.