

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Кафедра Электрические машины

А.С. Ватаев, М.В. Сочава, Н.А. Хомицевич

Дополнительные главы математики

Пособие по лабораторным работам

Санкт-Петербург

2015

Введение

Лабораторный курс «Дополнительные главы математики» предназначен для изучения системы имитационного моделирования Matlab Simulink Power System BlockSet. Такая система является универсальной и позволяет выполнять численное решение уравнений состояния, изучаемых в теоретическом разделе курса. Выбор системы Matlab Simulink Power System BlockSet для изучения был обусловлен также и наглядностью и открытостью данной системы, позволяющей управлять Simulink моделями непосредственно из программной среды Matlab. Пользователь данной системы составляет структурную схему устройства из активных и пассивных элементов электрических цепей, готовых моделей электротехнических устройств (электрических машин, кабелей, полупроводниковых преобразователей и т. д.), содержащихся во встроенных библиотеках блоков, соединяя их в требуемом порядке, задает начальные условия и выбирает метод решения дифференциальных уравнений и шаг интегрирования. Отметим также, что пользователь может создавать блоки на основе элементов системы Matlab Simulink Power System BlockSet самостоятельно. При этом нет необходимости в составлении самих дифференциальных уравнений, описывающих состояние системы. Система дифференциальных уравнений формируется ЭВМ автоматически на основе топологической матрицы системы с помощью специальных алгоритмов.

Также имеется возможность выполнения анализа электротехнических устройств, например, расчета установившегося режима работы на переменном токе методом векторных диаграмм, импеданса (полного сопротивления) участка цепи, выполнения гармонического анализа токов и напряжений. При этом возможно встраивать подпрограммы, реализуемые с помощью системы Power System Blockset в программу, написанную в системе Matlab [3, 4], что облегчает процесс автоматизации расчетов. Таким образом, в процессе лабораторных работ студенты не только изучают данный программный пакет, но и закрепляют навыки программирования и алгоритмического мышления.

Данные лабораторные работы выполнены для текущей версии программы Matlab R13 Simulink v.5. Каждая лабораторная работа состоит из трех файлов: описания, mdl-файла, содержащего расчетную модель, а также m-файла, предназначенного для управления моделью из системы Matlab. Первые два файла изучаются и не редактируются студентами. Для выполнения работы студенту необходимо отредактировать в соответствии с заданием преподавателя только m-файл. В общих чертах структура m-файлом состоит из следующих основных блоков:

1. Блок содержащий основные параметры схемы и начальные условия (амплитуды напряжений, токов, моментов времени отключения и т.д.).
2. Команда открытия созданной расчетной модели следующей структуры “`open('<имя файла модели>.mdl')`”. Отметим, что если модель находится в той же папке, что и управляющая программа, написанная в matlab, то достаточно указать только имя файла. В противном случае требуется указывать полный путь к файлу модели.
3. Блок предварительного расчета параметров модели.
4. Блок задание параметров блоков. Для этого используется функция `set_param`. Вначале указывается имя файла и блока, разделенные знаком “/” и выделенные символом “'”, например 'AO2kat7/GP1', что означает задаются параметры блока с названием GP1 из файла AO2kat7.mdl. Затем следует указать параметры элементов блока для этого вызываем параметр 'MaskValueString' и устанавливаем требуемые параметры блока. Следует отметить, что параметры устанавливаются в виде строки текста, и требуется заранее с помощью команды `num2str` перевести значения параметра из числового формата в строку [4]. Если параметров несколько, то следует объединить их в одну строку с помощью функции `strcat` в порядке их следования. Отделение одного параметра от другого осуществляется с помощью символа - разделителя “,|,”. В качестве примера приведем строку, устанавливающую параметры R, L, C блока “L” файла `rlc.mdl`:

```
set_param('rlc/L','MaskValueString',strcat('0','|', L,'|','inf'))
```

Поясним выбор параметров: ввиду того, что блок L представляет собой индуктивность, а стандартный блок series RLC branch представляет собой последовательно соединенные активное сопротивление, индуктивность и емкость, необходимо исключить активное сопротивление и емкость. Для этого значение сопротивления выбирается равным нулю, а емкости – бесконечность (inf)

5. Блок запуска расчета с помощью функции sim. Ее аргументом служит имя файла модели.
6. Блок формирования матрицы результатов. Для передачи из модели simulink используется блок simout. В поле variable name блока следует указать имя переменной. Переменная с этим именем будет соответствовать массиву данных, который в дальнейшем будет визуализирован программой matlab. В данной модели имеются три таких блока, передающих значения тока в катушке, напряжения на конденсаторе и массива точек времени расчета.

Для удобства работы с m-файлом каждая строка снабжена комментариями.

Лабораторная работа №1.

Подключение RLC цепи к источнику постоянного тока

Все современные электротехнические устройства при анализе процессов гашения дуги так или иначе можно представить в виде эквивалентной RLC цепи. При этом характер процесса дугогашения существенно зависит от сочетания параметров этой эквивалентной схемы и схемы их соединения в модели. В ряде случаев коммутируемую нагрузку можно представить как последовательно соединенные емкость индуктивность и активное сопротивление. Важными эксплуатационными факторами, которые могут оказывать влияние на надежность системы являются входное напряжение (а также напряжение между контактами выключателя), от величина которого влияет на конструкцию и материалы изоляции коммутируемой установки и самого выключателя, а также ток через индуктивность, который определяет время коммутации и влияет в том числе и на эффективность системы дугогашения.

Цель работы: исследование параметров схемы на величину пикового значения напряжения на зажимах схемы и контактах выключателя и величину тока в катушке при подключении и отключении RLC цепи к источнику постоянного напряжения.

Эквивалентная схема представлена на рис.1

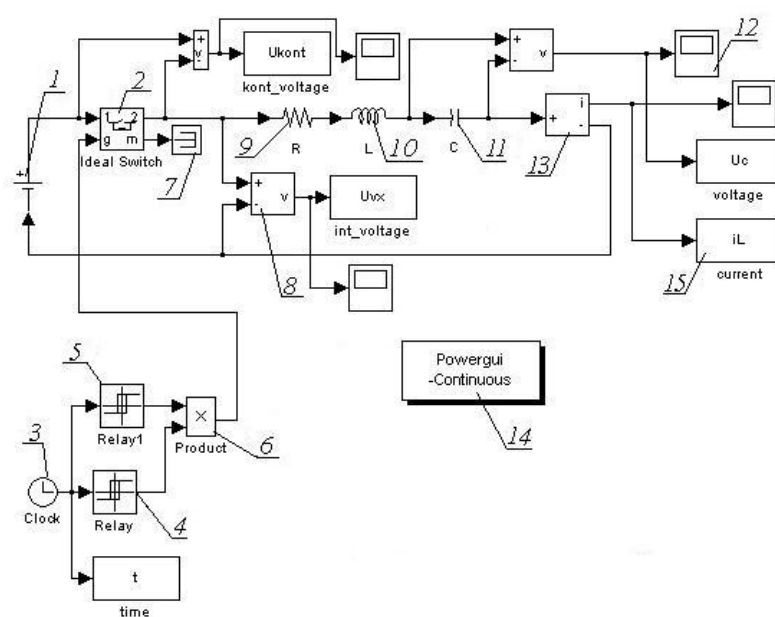


Рис.1.1 Структурная схема установки

Схема работает следующим образом: источник постоянного напряжения 1 подключен к испытываемой схеме через модель контактора 2. она представляет собой идеализированный коммутационный элемент (ideal switch), имеющий в проводящем состоянии сопротивление равное 0,01 Ом, а в непроводящем – порядка 10 МОм. Параллельно контактам подключена дугогасящая емкостная цепочка, состоящая из последовательно соединенных конденсатора (Snubber Capacitance) емкостью 10 нФ и активного сопротивления величиной 10 Ом. Управление контактором осуществляется с помощью блоков реле 4 и 5. Первый из них переключается из состояния “0” в состояние “1” по достижении момента времени включения, а второй переключается из состояния “1” в состояние “0” в момент времени отключения. Так как блок “ideal switch” замыкает цепь только при подаче на его управляющий вход (порт g) сигнала больше “0”, то выходные сигналы блоков реле перемножаются с помощью блока 6. Отсчет времени ведется с помощью счетчика 3. Информационный выход блока “ideal switch” подключен к блоку прерывателю 7. К выключателю подключены согласно схеме блок-измеритель напряжения 8 и последовательно соединенные активное сопротивление 9, индуктивность 10, емкость 11 и блок-измеритель тока 13. выходы блоков-измерителей подключены к , цифровым осциллографам 12 и блокам вывода результатов в рабочую область Matlab 15. Задание начальных условий осуществляется с помощью блока PowerGui-Continuous 14.

Управление моделью осуществляется с помощью программы, написанной в среде matlab. Имеется возможность исследовать влияние отдельных параметров на величину пиковых значений напряжения и тока в отдельных элементах.

Порядок работы

Открыть файл-программу RLCLab01.m и задать значения параметров схемы замещения, время начала и окончания расчета, время включения и отключения контактора, напряжение источника постоянного тока.

После этого следует изменять один из параметров, а именно сопротивление, емкость, индуктивность исследуемой цепи, параметры дугогасящей цепи выключателя (шунтирующую емкость и активное сопротивление, включаемое последовательно с емкостью), время включения и отключения выключателя. Число исследуемых параметров, шаг их изменения указывается преподавателем.

После задания всех условий следует нажать клавишу F5 и программа расчета запустится автоматически.

По окончании расчета будут построены графики напряжения на конденсаторе, тока в катушке, входного напряжения, напряжения на контакторе как функции от времени. Также будут выведены в командное окно программы окно максимальные значения напряжений на конденсаторе, выключателе и на входе в схему, а также тока в катушке. На их основе следует построить зависимости пиковых значений перечисленных выше параметров от величины параметров схемы замещения и параметров дугогасительной цепи. Данные зависимости следует привести в отчете.

В качестве примера приведем зависимости рассмотренных выше токов и напряжений рассчитанных при напряжении источника питания 100 В, сопротивлении схемы 2 Ом, емкости 10 мкФ индуктивности 1 мГн, емкости дугогасящей цепи выключателя 10 нФ, активном сопротивлении дугогасящей цепи 10 Ом. Время включения выключателя 0,001 с, время отключения 0.005 с.

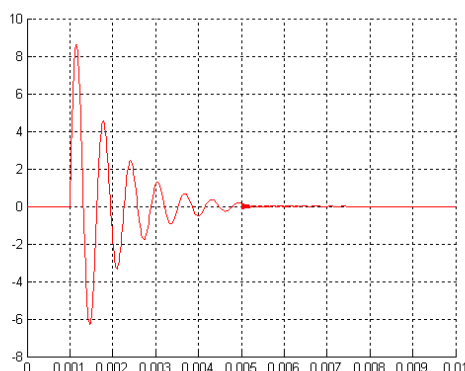


Рис. 1.2. Зависимость тока в катушке от времени

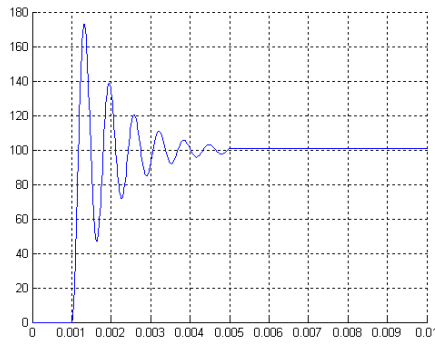


Рис. 1.3 Зависимость напряжения на конденсаторе от времени

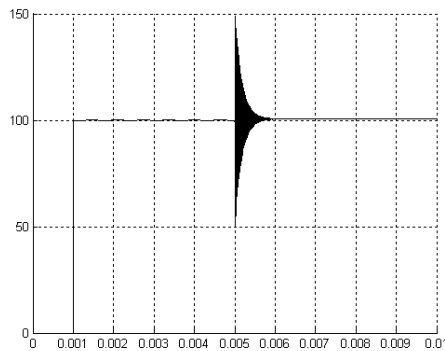


Рис. 1.4 Зависимость напряжения на входе в схему от времени

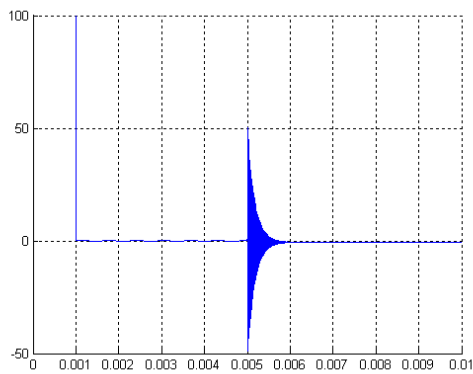


Рис. 1.5. Зависимость напряжения на выключателе от времени

Содержание отчета

1. принципиальная схема установки
2. изменяемые параметры схемы и пределы их изменения
3. зависимости напряжений на контакторе, входе в схему, на конденсаторе, тока в катушке от времени
4. зависимости рассматриваемых пиковых значений напряжения от времени

5. выводы по работе о влиянии величины отдельных величин параметров схемы и дугогасительной цепи выключателя на величину напряжений и токов в элементах схемы

Лабораторная работа №2.

Подключение RLC цепи к источнику синусоидального напряжения

Большинство электротехнических устройств получает питание от источников переменного тока. также как и для случая питания потребителя от источника постоянного тока, при анализе процессов гашения дуги устройство можно представить в виде эквивалентной RLC цепи. При этом характер процесса дугогашения будет зависеть как от сочетания параметров этой эквивалентной схемы, так и от момента времени включения и отключения цепи. Важными эксплуатационными факторами, которые могут оказывать влияние на надежность системы являются входное напряжение, напряжение между контактами выключателя, величина которого влияет на конструкцию и материалы изоляции коммутуруемой установки и самого выключателя, а также ток через индуктивность, который определяет время коммутации и влияет в том числе и на эффективность системы дугогашения.

Целью работы является исследование параметров схемы и дугогасящей цепи, а также времени подключения установки на величину пикового значения напряжения на зажимах схемы и контактах выключателя и величину тока в катушке при подключении и отключении RLC цепи к источнику синусоидального напряжения.

Эквивалентная схема представлена на рис.2.1

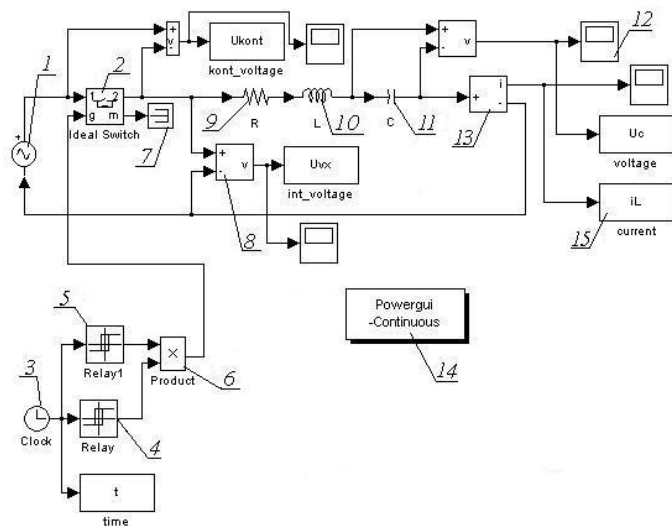


Рис.2.1 Структурная схема установки

Схема работает следующим образом: источник переменного напряжения 1 подключен к испытуемой схеме через модель контактора 2. она представляет собой идеализированный коммутационный элемент (ideal switch), имеющий в проводящем состоянии сопротивление равное 0,01 Ом, а в непроводящем – порядка 10 МОм. Параллельно контактам подключена дугогасящая емкостная цепочка, состоящая из последовательно соединенных конденсатора (Snubber Capacitance) емкостью 10 нФ и активного сопротивления величиной 10 Ом. Управление контактором осуществляется с помощью блоков реле 4 и 5. Первый из них переключается из состояния “0” в состояние “1” по достижении момента времени включения, а второй переключается из состояния “1” в состояние “0” в момент времени отключения. Так как блок “ideal switch” замыкает цепь только при подаче на его управляющий вход (порт g) сигнала больше “0”, то выходные сигналы блоков реле перемножаются с помощью блока 6. Отсчет времени ведется с помощью счетчика 3. информационный выход блока “ideal switch” подключен к блоку прерывателю 7. К выключателю подключены согласно схеме блок-измеритель напряжения 8 и последовательно соединенные активное сопротивление 9, индуктивность 10, емкость 11 и блок-измеритель тока 13. выходы блоков-измерителей подключены к , цифровым осциллографам 12 и блокам вывода результатов в рабочую область

Matlab 15. Задание начальных условий осуществляется с помощью блока PowerGui-Continuous 14.

Управление моделью осуществляется с помощью программы, написанной в среде matlab. Имеется возможность исследовать влияние отдельных параметров на величину пиковых значений напряжения и тока в отдельных элементах.

Порядок работы

Открыть файл-программу RLCsin1.m и задать значения параметров схемы замещения, дугогасящей цепочки, время начала и окончания расчета, время включения и отключения контактора, напряжение источника переменного тока.

После этого следует задать величину изменяемого параметра как то емкость, активное сопротивление индуктивность цепи-приемника, емкость и активное сопротивление шунтирующей цепочки контактора, время включения и отключения контактора, начальная фаза источника напряжения. Изменять следует только один параметр. Число исследуемых параметров, шаг их изменения указывается преподавателем. После задания всех условий следует нажать клавишу F5 и программа расчета запустится автоматически.

По окончании расчета будут построены графики напряжения на конденсаторе, тока в катушке, входного напряжения, напряжения на контакторе как функции от времени. Также будут выведены в командное окно программы окно максимальные значения напряжений на конденсаторе, выключателе и на входе в схему, а также тока в катушке. На их основе следует построить зависимости пиковых значений перечисленных выше параметров от величины параметров схемы замещения, параметров дугогасительной цепи. Данные зависимости следует привести в отчете.

Также следует выполнить исследование зависимости величин пиковых значений напряжения от времени включения и отключения контактора, а также от начальной фазы источника переменного напряжения. Шаг изменения следует выбирать меньше четверти периода напряжения источника.

В качестве примера приведем зависимости рассмотренных выше токов и напряжений рассчитанных при напряжении источника питания 100 В, начальной

фазе напряжения 0, частоте напряжения 50 Гц, сопротивлении схемы 2 Ом, емкости 10 мкФ индуктивности 1 мГн, емкости дугогасящей цепи выключателя 10 нФ, активном сопротивлении дугогасящей цепи 10 Ом. Время включения выключателя 0,001 с, время отключения 0.02 с.

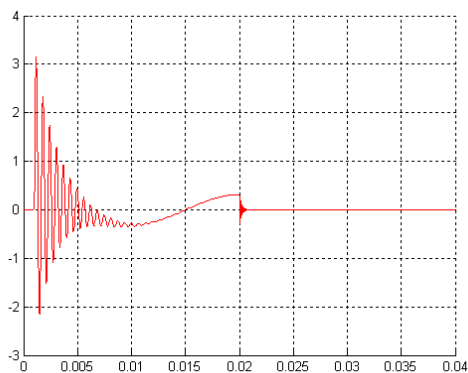


Рис. 2.2. Зависимость тока в катушке от времени

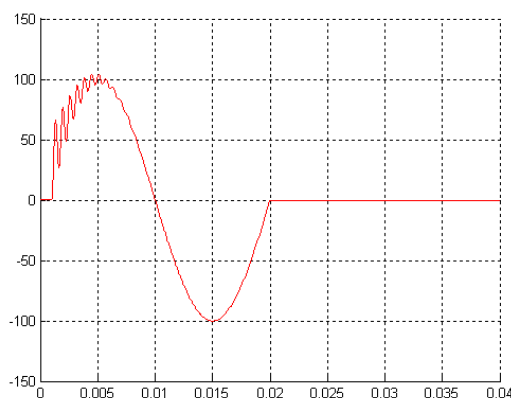


Рис. 2.3 Зависимость напряжения на конденсаторе от времени

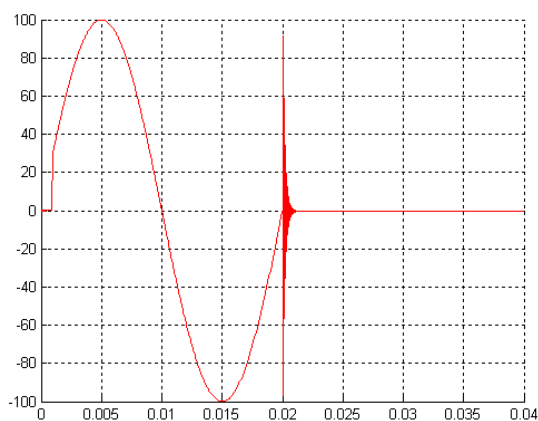


Рис. 2.4 Зависимость напряжения на входе в схему от времени

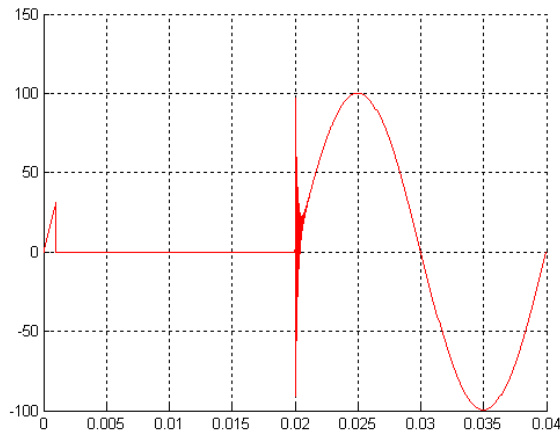


Рис. 2.5. Зависимость напряжения на выключателе от времени

Содержание отчета

1. принципиальная схема установки
2. изменяемые параметры схемы и пределы их изменения
3. зависимости напряжений на контакторе, входе в схему, на конденсаторе, тока в катушке от времени
4. зависимости рассматриваемых пиковых значений напряжения от времени.
5. зависимости пиковых значений напряжения от времени включения и отключения контактора.
6. выводы по работе о влиянии величины отдельных величин параметров на пиковые значения напряжения и тока в различных элементах схемы

Лабораторная работа №3.

Обрыв фазы в трехфазной цепи

Как известно, при коммутации трехфазных цепей практически невозможно добиться одновременного замыкания и размыкания контактов выключателя. В этой связи представляет интерес изучения перенапряжений, возникающих на отдельных фазах при неодновременном замыкании контактов выключателя.

В настоящей работе будем рассматривать самое начало коммутационного процесса, когда два линейных контакта еще замкнуты, а разрывается только один. Нагрузку будем представлять в виде эквивалентной RL цепи. Сеть представлена в виде источников переменного напряжения. Фазы источника и приемника соединены в звезду. Представляет интерес исследовать зависимости фазных токов и напряжений на фазах от времени после коммутации, а также влияние пиковых значений токов и напряжений в зависимости от сочетания параметров нагрузки, а также момента времени включения и отключения цепи.

Целью работы является исследование параметров схемы, а также времени подключения установки на величину пикового значения фазных токов и напряжений на нагрузке.

Эквивалентная схема представлена на рис.3.1

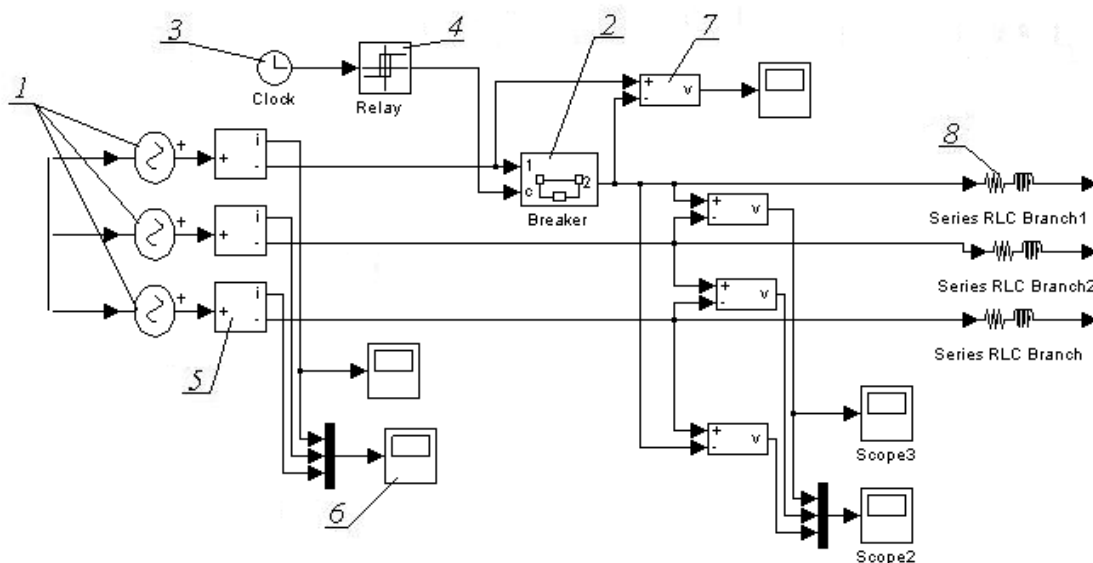


Рис.3.1 Структурная схема установки

Схема работает следующим образом: источники переменного напряжения 1 соединены в звезду и подключены к испытуемой схеме через модель выключателя 2, т.к. остальные фазы не размыкаются. Выключатель моделируется блоком breaker, имеющим в проводящем состоянии сопротивление равное 0,01 Ом, а в непроводящем – порядка 10 МОм. Управление выключателем осуществляется с помощью блока реле 4, который переключается из состояния “1” в состояние “0” по

достижении момента времени включения. Так как блок “breaker” замыкает цепь только при подаче на его управляющий вход (порт g) сигнала больше “0”, то выбираем его начальное состояние как замкнутое, устанавливая в окне свойств блоков initial state значение 1 (начальное состояние замкнутое). Отсчет времени ведется с помощью счетчика 3. К выключателю подключены согласно схеме блоки измерители тока 5 и напряжения 7, а также нагрузка 8, представляющая собой последовательно соединенные активное сопротивление и индуктивность

Порядок работы

Открыть файл viki.mdl, задать в соответствующих окнах значения параметров схемы замещения, время начала и окончания расчета, время отключения выключателя, напряжение источника переменного тока.

После этого следует задать величину изменяемого параметра как то индуктивность или активное сопротивление цепи-приемника, время отключения выключателя, начальная фаза источника напряжения. Изменять следует только один параметр. Число исследуемых параметров, шаг их изменения указывается преподавателем.

После задания всех условий следует нажать кнопку «start simulation» или же сочетание клавиш Ctrl+T панели инструментов simulink и программа расчета запустится автоматически.

По окончании расчета будут построены осциллограммы фазных напряжений, токов, а также напряжения на контактах выключателя. Для проведения исследований параметры схемы следует изменять вручную.

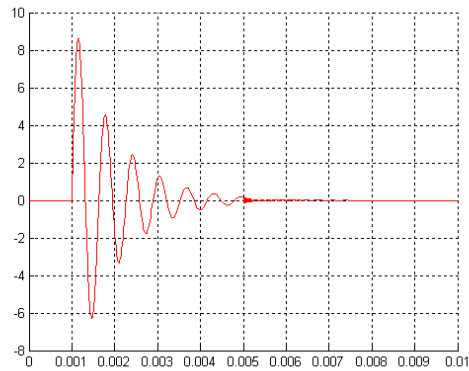


Рис. 3.2.

Содержание отчета

1. принципиальная схема установки
2. изменяемые параметры схемы и пределы их изменения
3. осциллограммы фазных токов, напряжения, напряжения на выключателе, полученные для одного значения параметров схемы.
4. зависимости пиковых значений токов и напряжений как функции от величины параметров схемы замещения нагрузки.
5. выводы по работе о влиянии величины отдельных величин параметров на пиковые значения напряжения и тока в различных элементах схемы

Лабораторная работа №4.

Исследование высокочастотных перенапряжений в системе преобразователь частоты-кабель-двигатель

Преобразователи частоты (ПЧ) с широтно-импульсной модуляцией напряжения (ШИМ) широко используются для плавного регулирования частоты вращения асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутой обмоткой ротора. Известно, что для улучшения энергетических показателей привода частота модуляции напряжения должна быть высокой, т.к. при этом уменьшается несинусоидальность кривой тока. Однако при высокой частоте модуляции (1–10 кГц) длительность фронта импульса, формируемого инвертором ПЧ, мала и, как правило, не превосходит 1 мкс. Это обстоятельство является причиной возникновения перенапряжений в обмотках

статоров асинхронных машин, подключаемых к преобразователю частоты, через питающий кабель. Данная проблема особенно актуальна при проектировании частотно регулируемых электроприводов погружных насосов, судовых механизмов, морских буровых установок и т.д., где длина кабеля может в значительной мере повлиять на эксплуатационные показатели привода в целом.

Для расчета распределения напряжения по обмотке статора при питании от ПЧ с ШИМ через длинный кабель необходимо и кабель и обмотку рассматривать как последовательно соединенные линии с распределенными параметрами. Решить такую задачу аналитическими методами практически не представляется возможным, поскольку при этом необходима организация трудоемких итерационных процессов. Более эффективным является использование численных методов расчета.

Целью настоящей работы является расчет распределения напряжения в обмотке статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при наличии кабеля, соединяющего преобразователь и двигатель. При выполнении расчета приняты следующие допущения: кабель и обмотка электрической машины представляются в виде цепной схемы; емкостными индуктивными связями между катушками обмотки статора в пазовых и лобовых частях пренебрегаем ввиду их малости; поляризационные потери в лобовых частях обмотки статора, а также потери на гистерезис в зубцах пренебрежимо малы; схемы замещения обмотки и кабеля однородные, линейные; индуктивными и емкостными связями между проводами кабеля пренебрегаем, т.к. они малы; нейтральная точка обмотки глухо заземлена, кабель экранированный. Экран кабеля заземлен.

Для выполнения расчетов воспользуемся системой имитационного моделирования Matlab-Simulink. Расчетная схема представлена на рис. 4.1.

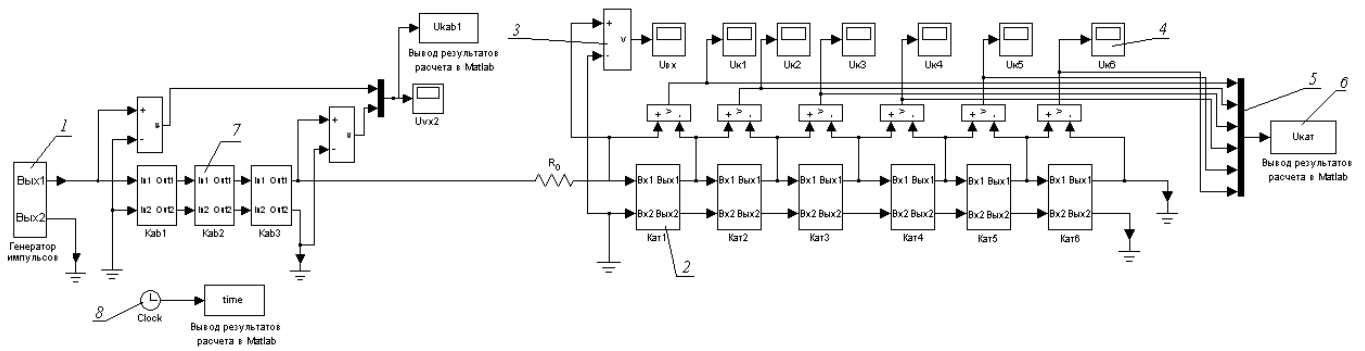


Рис. 4.1. Схема замещения расчетного участка кабеля.

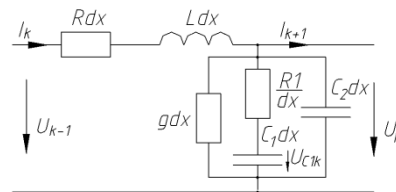


Рис.4.2. Расчетная схема замещения участка кабеля. R_l , g – сопротивление и проводимость, учитывающие потери в изоляции, Ом и См соответственно; C_1 , C_2 – эквивалентные емкости изоляции кабеля относительно экрана, Ф; L – индуктивность провода кабеля с учетом собственной и взаимной индуктивности, Гн; R – активное сопротивление провода, Ом.

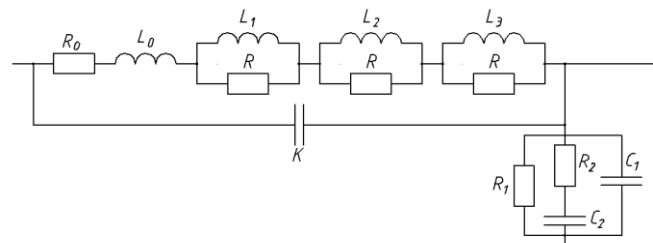


Рис. 4.3. Схема замещения катушки с постоянными параметрами, применяемая для расчета распределения напряжения по обмотке.

В соответствии с обозначениями рис.4.3. экспериментально определенные параметры схемы замещения катушки обмотки статора АД АО2-41-4 приняты равными: $R_0 = 26$ Ом; $L_0 = 0.33$ мГн; $R = 160$ Ом; $L_1 = 1.8$ мГн; $L_2 = 0.2$ мГц; $L_3 = 0.072$ мГн; $C_1 = 410$ пФ; $C_2 = 30$ пФ; $R_1 = 26.54$ МОм; $R_2 = 6$ МОм; $K_0 = 900$ пФ.

Схема работает следующим образом: Импульсы с заданной амплитудой и регулируемой длительностью фронта генерируются с помощью генератора 1. Импульсы подаются на кабель, представляемый в виде блок-схем 7 со структурой,

представленной на рис. 4.2., а затем подается на катушки двигателя, представляемые так же как и кабель, в виде блок схем 2 со структурой представленной на рис. 4.3. напряжения на катушках измеряются с помощью блоков-измерителей напряжения 3. Данные с измерителей подаются на модели осциллографов 4, а также на блок мультиплексор 5, с выхода которого информация передается с помощью специального блока 6 в систему Matlab для дальнейшей обработки. Аналогичным образом измеряются и передаются в систему Matlab напряжения на входе и выходе кабеля. Отсчет времени ведется с помощью счетчика 8. К выходу счетчика также подключен блок, передающий значения времени для дальнейшей обработки.

Для управления моделью в системе Matlab написана программа, позволяющая задавать параметры импульса, схем замещения кабеля и катушек обмотки двигателя. Также имеется возможность задавать длину кабеля.

Порядок работы

Открыть файл `urcab.m`, задать значения длительности фронта импульсов, амплитуду и длительность импульса в процентах периода ШИМ, а также длину кабеля. Запустить программу с помощью клавиши F5. В результате расчета будут получены осциллограммы напряжения на входе и на выходе кабеля, напряжения на первой катушке двигателя, выведены в командное окно максимальное и минимальное значения напряжений на первой катушке, а также максимальные значения напряжений относительно корпуса на входе выходе из кабеля.

После этого следует изменять длительность фронта импульса, длину кабеля, длительность импульса и получить семейство осциллограмм. Следует изменять только один параметр. Шаг их изменения указывается преподавателем.

Результаты расчета, полученные при длине кабеля 250 м, амплитуде импульсов 110 В, длительности фронта 0,3 мкс и длительности импульса 90% представлены на рис. 4.4 – 4.6.

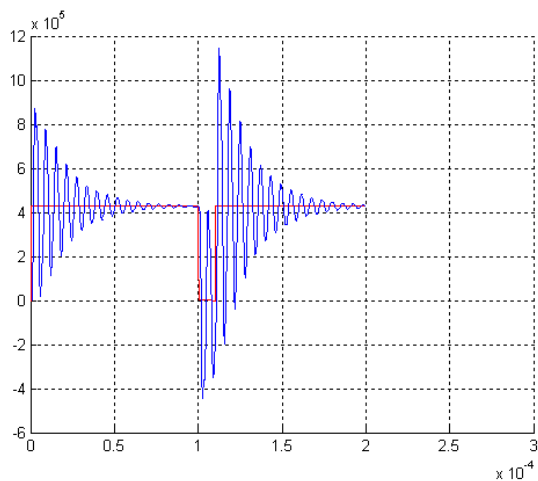


Рис. 4.4. Напряжения относительно корпуса на входе и выходе из кабеля

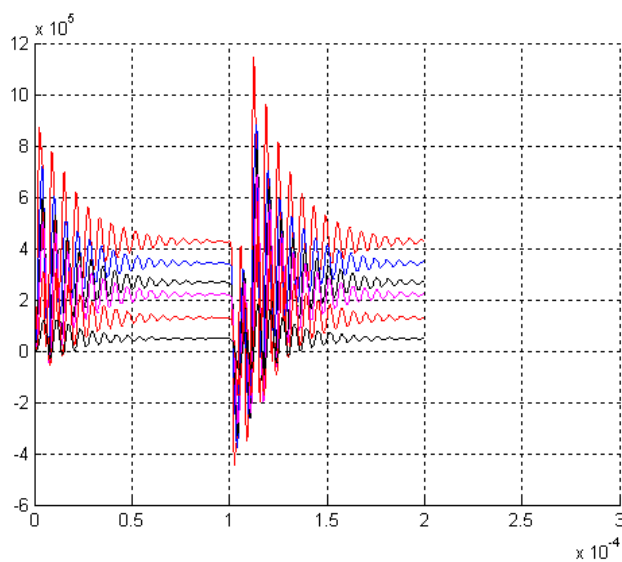


Рис. 4.5. Напряжения относительно корпуса на входе в катушки

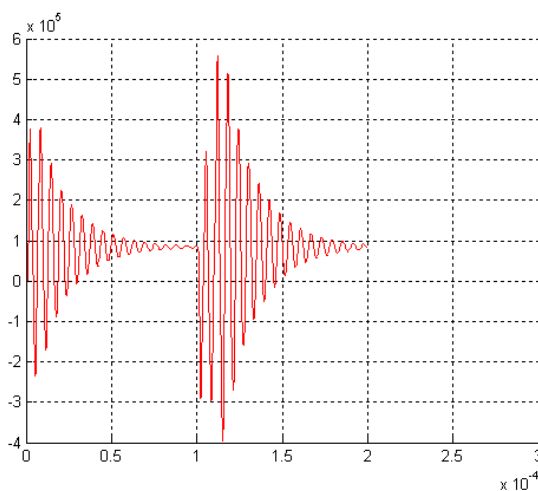


Рис. 4.6. напряжения на первой катушке как функция времени

Содержание отчета

1. принципиальная схема установки
2. изменяемые параметры схемы и пределы их изменения
3. осциллограммы напряжений на входе и выходе кабеля, напряжения на первой катушке при различных значениях длины кабеля, длительности импульса и его фронта (количество осциллограмм указывается преподавателем).
4. зависимости пиковых значений напряжений на выходе кабеля и первой катушке как функции от величины длительности импульса, длительности фронта импульса и длины кабеля.
5. выводы по работе о влиянии величины длины кабеля и длительности импульса и его фронта на величину перенапряжений на выходе кабеля и первой катушке.

Лабораторная работа №5.

Анализ процессов при восстановлении напряжения на контактах выключателя

Эквивалентная схема модели представлена на рис.5.1

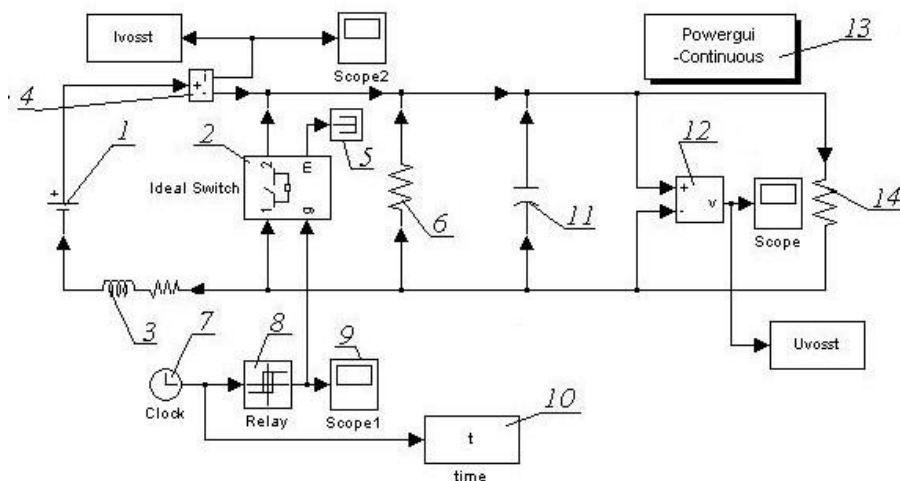


Рис.5.1 Структурная схема модели

Схема работает следующим образом: источник постоянного напряжения 1 подключен к цепи, состоящей из модели контактора 2, последовательно-соединенных индуктивности и активного сопротивления 3, а также блока

измерителя тока 4. Контактор представляет собой идеализированный коммутационный элемент (ideal switch), имеющий в проводящем состоянии сопротивление равное 0,1 мОм, а в непроводящем – порядка 0,1 МОм. Информационный выход блока “ideal switch” подключен к блоку прерывателю 7. Параллельно контактам подключено активное сопротивление дугогасящей цепочки (snubber resistance) R_{sn} величиной 100 кОм, активное сопротивление R_6 величиной 5 кОм, емкость C_{11} величиной 10 мкФ. Для измерения напряжения на контактах используется измеритель напряжения 12, подключенный параллельно с измерительным сопротивлением R_{14} величиной 1 МОм. Управление контактором осуществляется с помощью блока реле 8, которое переключается из состояния “1” в состояние “0” по достижении момента времени отключения. Для контроля сигнала используется блок-осциллограф 9. Отсчет времени ведется с помощью счетчика 7. счетчик, а также измерители тока и напряжения подключены к цифровым осциллографам 9 и блокам вывода результатов в рабочую область Matlab 10. Задание начальных условий осуществляется с помощью блока PowerGui-Continuous 13.

Управление моделью осуществляется с помощью программы, написанной в среде matlab. Имеется возможность исследовать влияние отдельных параметров на величину времени восстановления напряжения и его пиковое значение.

Порядок работы

Открыть файл-программу `vosst_napr.m` и задать значения параметров схемы замещения, параллельно соединенных активного сопротивления и емкости, время начала и окончания расчета, время отключения контактора, напряжение источника переменного тока.

После этого следует задать величину изменяемого параметра а именно емкость или активное сопротивление параллельной цепи C_p и R_p , индуктивность L и активное сопротивление R последовательно соединенной цепи. Изменять следует только один параметр. Число исследуемых параметров, шаг их изменения

указывается преподавателем. После задания всех условий следует нажать клавишу F5 и программа расчета запустится автоматически.

По окончании расчета будут построены графики напряжения на контактах и тока в отключаемой цепи. Далее следует графически определить длительность процесса восстановления напряжения. На их основе следует построить зависимости длительности восстановления напряжения и его пикового значения от величины параметров схемы замещения, параметров параллельно соединенных элементов. Данные зависимости следует привести в отчете.

В качестве примера приведем зависимости рассмотренных выше тока и напряжения рассчитанных при напряжении источника питания 100 В, сопротивлении последовательной цепи схемы 5 кОм и индуктивности 0,1 мГн, емкости параллельной ветви 10 мкФ, активного сопротивления параллельной ветви 5 кОм, активном сопротивлении дугогасящей цепи 100 кОм. Время отключения контактора 0.001 с.

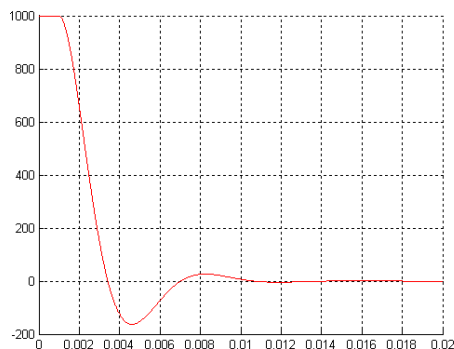


Рис. 5.2. Зависимость тока в отключаемой цепи от времени

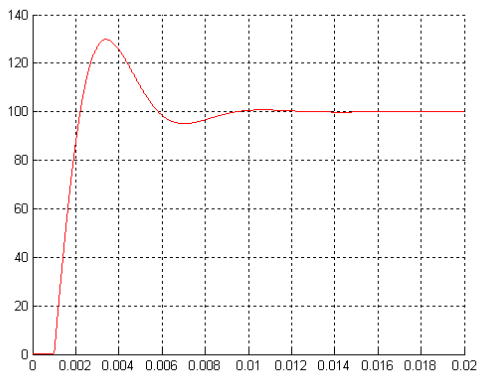


Рис. 5.3 Зависимость напряжения на контактах от времени

Содержание отчета

1. принципиальная схема установки
2. изменяемые параметры схемы и пределы их изменения
3. зависимости напряжения на контактах выключателя, а также тока в цепи от времени
4. зависимости времени восстановления напряжения от величины емкости и активного сопротивления параллельной ветви.
5. выводы по работе о влиянии величины отдельных величин параметров на пиковые значения напряжения и время восстановления напряжения

Список литературы

1. Ануфриев Ю.Л. Самоучитель Matlab 5.3/6.x. / Ю.Л. Ануфриев. – СПб; БХВ – Петербург, 2003. – 736с.
2. Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. / К.С. Демирчан, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин, Учебник для вузов. В 3Т. Т2. СПб.; Питер, 2006. – 576с.
3. Черных И.В. SIMULINK среда создания инженерных приложений / И.В. Черных. под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина – М.: Диалог-МИФИ, 2003 – 496с.
4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных.– М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008 – 288 с.

Содержание

Введение.....	2
Работа 1. Подключение RLC цепи к источнику постоянного тока.....	5
Работа 2. Подключение RLC цепи к источнику синусоидального напряжения...9	
Работа 3. Обрыв фазы в трехфазной цепи.....	13
Работа 4. Исследование высокочастотных перенапряжений в системе преобразователь частоты-кабель-двигатель	16
Работа 5. Анализ процессов при восстановлении напряжения на контактах выключателя.....	21
Список литературы.....	25