

Тема 1 Введение

Цель, задачи и объем лабораторного курса. Техника безопасности и противопожарная безопасность при повреждении лабораторных стендов

Целью лабораторных работ является приобретения навыков снятия характеристик реле устройств защиты и расчета уставок устройств защиты, проверка эффективности функционирования устройств защиты элементов схемы электроснабжения промышленного предприятия и анализ полученных результатов, построение умозаключений по результатам выполнения лабораторных работ.

Аппаратная часть комплекта выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

- спроектированные с учебными целями натурные аналоги элементов электрической системы;
- источники питания;
- измерительные преобразователи и приборы;
- составной лабораторный стол с встроенными контейнерами для хранения проводников и методических материалов, рамами для установки необходимых в эксперименте функциональных блоков.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы необходимо: изучить содержание работы и порядок ее выполнения; повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы; подготовить таблицы с необходимым количеством граф для занесения результатов наблюдений.

Лабораторные работы выполняются бригадами из 2 – 3 студентов.

Лабораторная работа засчитывается, если отчет содержит необходимые схемы, таблицы и графики, выполненные правильно и аккуратно, и если студент ответил на вопросы преподавателя. Кроме того, студент должен знать назначение используемых блоков и уметь объяснять порядок действий при выполнении любого эксперимента в лабораторной работе.

При проведении инструктажа по технике безопасности следует рассказать о воздействии электрического тока на организм человека (термическое – ожоги кожи и нагрев кровеносных сосудов, электролитическое – разложение органических жидкостей, механическое – разрыв тканей организма, биологическое – нарушение внутренних биоэлектрических процессов).

Лабораторные стенды являются действующими электроустановками, отдельные элементы которых находятся под напряжением. Поэтому при определенных условиях, возникающих из-за нарушения установленных правил, лабораторные стенды могут стать источником поражения человека электрическим током и других видов травматизма.

Студенты в лаборатории должны соблюдать осторожность и правила техники безопасности:

1) студенты, находясь в лаборатории, должны быть предельно дисциплинированными и внимательными; беспрекословно выполнять все указания преподавателей и лаборантов, находиться непосредственно у исследуемой лабораторной установки;

2) запрещается подходить к другим установкам:

- распределительным щитам и пультам, делать на них какие-либо включения или переключения;
- включать схему под напряжение, если кто-нибудь касается ее неизолированной токоведущей части;
- производить какие-либо присоединения в схеме, находящейся под напряжением;
- оставлять без наблюдения лабораторную установку или отдельные приборы под напряжением;

3) при перемещениях переключателей и рукояток пускорегулирующей аппаратуры необходимо следить за тем, чтобы рука была в прикосновении только с изолированной рукояткой;

4) одежда студентов не должна иметь свободно свисающих концов, шарфов, косынок, галстуков, и т.п., а прическа или головной убор должен исключать возможность свисания прядей волос;

5) при работе с лабораторной установкой, находящейся под напряжением, студенты должны стоять на изоляционных резиновых ковриках, имеющихся у каждой лабораторной установки;

6) о всех замеченных случаях неисправности в работе установок и нарушении правил техники безопасности каждый студент должен немедленно сообщить преподавателю;

7) если произошел несчастный случай, лабораторную установку следует немедленно отключить, оказать пострадавшему первую помощь и сообщить об этом преподавателю.

Инструктаж по технике безопасности должен быть зафиксирован в специальном журнале, в котором студент должен расписаться.

Тема 2 Первичные преобразователи тока и напряжения

Испытания трансформатора тока. Лабораторная работа выполняется для изучения схемы замещения трансформаторов тока и анализа его погрешностей в разных режимах работы, изучения способов проверки исправности первичных преобразователей тока и снятия основных характеристик.

В результате изучения материала, выполнения работы и необходимых расчетов студент должен:

- знать классификацию первичных преобразователей тока и напряжения, особенности работы первичных преобразователей напряжения различного принципа действия, знать схемы замещения трансформаторов тока и способы проверки их неисправностей;

- уметь определять реальную и допустимую погрешности первичных преобразователей тока.

Особенности расчетов первичных преобразователей тока. Большинство про-

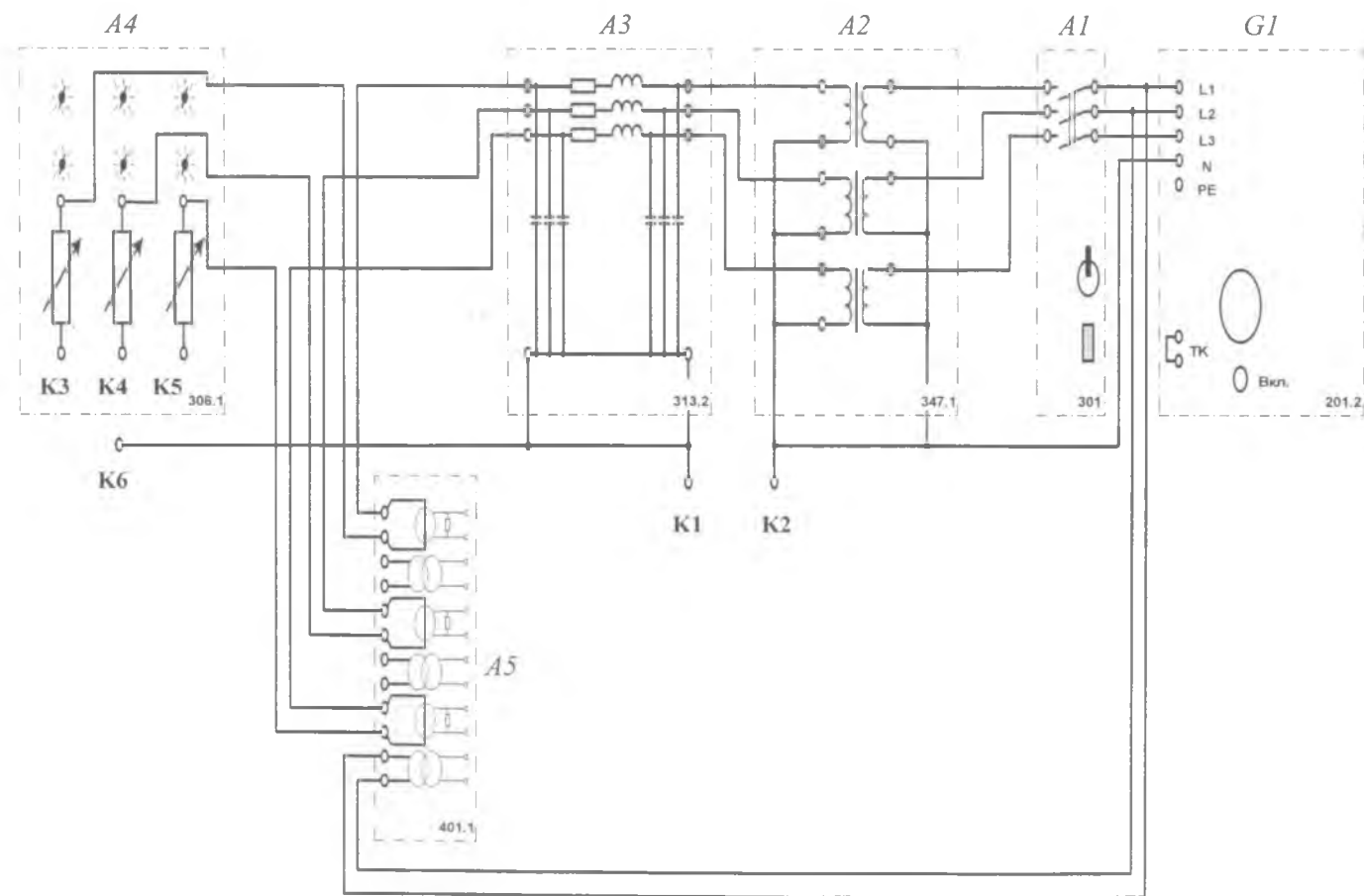
ектируемых и находящихся в эксплуатации устройств защиты выполняются с использованием первичных преобразователей электрического тока. Используемые в устройствах защиты трансформаторы тока (ТА) выполняются с шихтованными и тороидальными сердечниками. Необходимо обратить внимание, что на основании схемы замещения ТА составляется уравнение намагничивающих сил. В процессе трансформации первичного тока во вторичную обмотку ТА имеют место потери, которые зависят от нагрузки во вторичной обмотке. Если она превышает допустимую, то возникают погрешности в работе ТА и, соответственно, устройств защиты. Различают токовую, угловую и полную погрешности.

Следует обратить внимание студентов на стандартный объем проверки характеристик трансформаторов тока (проверка однополярных зажимов первичной и вторичной обмоток, проверка коэффициента трансформации, снятие характеристик намагничивания, определение нагрузки на вторичной обмотке трансформатора тока, проверка первичного преобразователя тока на десяти процентную погрешность).

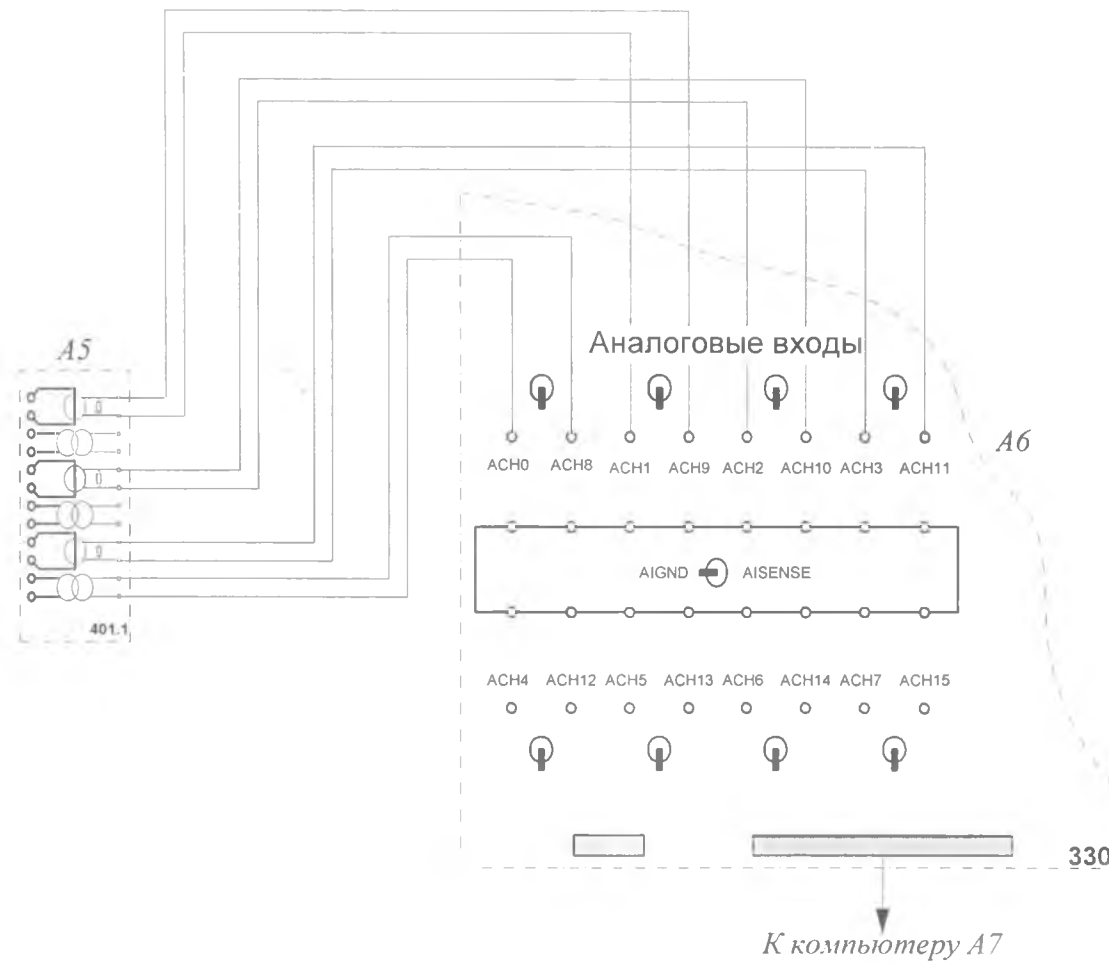
Следующие требования – в любых схемах соединения трансформаторов тока и измерительных органов устройств защиты необходимо заземлять вторичные цепи для защиты персонала при пробое высокого первичного напряжения на вторичную обмотку. На выполнение этого условия следует особо обратить внимание студентов при проверке ТА. Вторичные обмотки трансформатора тока должны быть всегда закорочены для исключения появления перенапряжений, опасных для обслуживающего персонала. Обратить внимание студентов на возможные случаи, когда расчетная нагрузка ТА получается значительной. Для ее снижения и уменьшения погрешности ТА применяют последовательное соединение двух вторичных обмоток одного и того же ТА, увеличивают сечение проводников для монтажа устройств защиты или уменьшают их длину.

При построении векторной диаграммы трансформатора тока необходимо указать на определение величины угловой погрешности. Следует отметить, что первичные преобразователи напряжения также имеют погрешности по напряжению и угловую погрешность.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обоз.	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехполюсный выключатель	301	400 В ~; 10 А
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A3	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A4	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0...50 Вт;
A5	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A6	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A7	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E

Указания по проведению эксперимента

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда «ТК» источника G1.
3. Соедините гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Смоделируйте режим работы сети – например, для сети с заземленной нейтралью соедините точки K1 и K2.
6. Смоделируйте «короткое замыкание» (в данном случае, строго говоря, короткое замыкание не является таковым, т.к. производится через токоограничивающие сопротивления нагрузки A4) – например, двухфазное на землю фаз А и С, для чего соедините точки K3, K5 и K6 между собой.

7. Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А1 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А2 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А3 переключателями установите, например, следующими: $R = 150 \text{ Ом}$, $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$, $C1=C2=0,15 \text{ мкФ}$. Выберите мощность активной нагрузки А4, например 40% от 50 Вт во всех трех фазах.

8. Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

9. Включите выключатель «СЕТЬ» выключателя А1.

10. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А7, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Трансформаторы тока.exe».

11. Для начала сбора данных нажмите на виртуальную кнопку «Пуск».

12. Включите выключатель А1. На экране компьютера отобразятся векторные диаграммы токов трансформаторов и токов в виртуальных реле, а также симметричные составляющие токов трансформаторов. На виртуальной схеме соединений трансформаторов тока и реле появятся действующие значения токов в различных ее частях. Правее этой схемы можно наблюдать осциллограммы токов в обмотках трансформаторов.

13. Выбирайте интересующую схему соединений трансформаторов тока из раскрывающегося списка на экране компьютера, изменяйте параметры активной нагрузки А4, вид замыкания и/или режим заземления нейтрали и наблюдайте получающиеся векторные диаграммы.

14. При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- Все векторные диаграммы можно увеличивать и уменьшать, нажимая на кнопки «Масштаб».

- Нажимая на кнопки «Поворот», все векторные диаграммы можно поворачивать. При этом каждый вектор поворачивается вокруг своего начала.

- На векторной диаграмме токов трансформаторов тока и реле каждый из векторов можно двигать параллельно самому себе, используя группы кнопок с красными стрелками. Уменьшить шаг перемещения векторов можно, удерживая при нажатии на кнопку со стрелкой клавишу Shift. Вернуться к начальному положению вектора можно, нажав на кнопку в центре соответствующей группы.

- Масштабирование осциллограмм токов фаз производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

- Двигать векторные диаграммы и график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

- Цвета ветвей схемы, осциллограмм, векторов на векторных диаграммах и надписей около групп кнопок со стрелками соответствуют друг другу.

- Цвета фаз сети соответствуют общепринятым.

15. В качестве опорного напряжения можно использовать отличное от указанного на схеме междуфазное или любое из фазных напряжений (это целесообразно при «нестабильности» векторных диаграмм, т.е. при быстром случайном изменении углов каких-либо векторов).

16. По завершении эксперимента отключите выключатель А1 и источник G1.

Лабораторная работа засчитывается, если отчет содержит необходимые схемы, таблицы и графики, выполненные правильно и аккуратно, и если студент ответил на контрольные вопросы. Кроме того, студент должен знать назначение используемых блоков и уметь объяснять порядок действий при выполнении любого эксперимента в лабораторной работе.

Тема 3 Элементы устройств релейной защиты

Цель лабораторных работ. В результате изучения и конспектирования материала, выполнения расчетов студент должен:

- знать конструкцию электромеханических реле (на примере электромагнитных и индукционных реле), которые находятся в эксплуатации в устройствах защиты на промышленных предприятиях по настоящее время;

- уметь применять соответствующую методику проверки основных характеристик электромеханических реле.

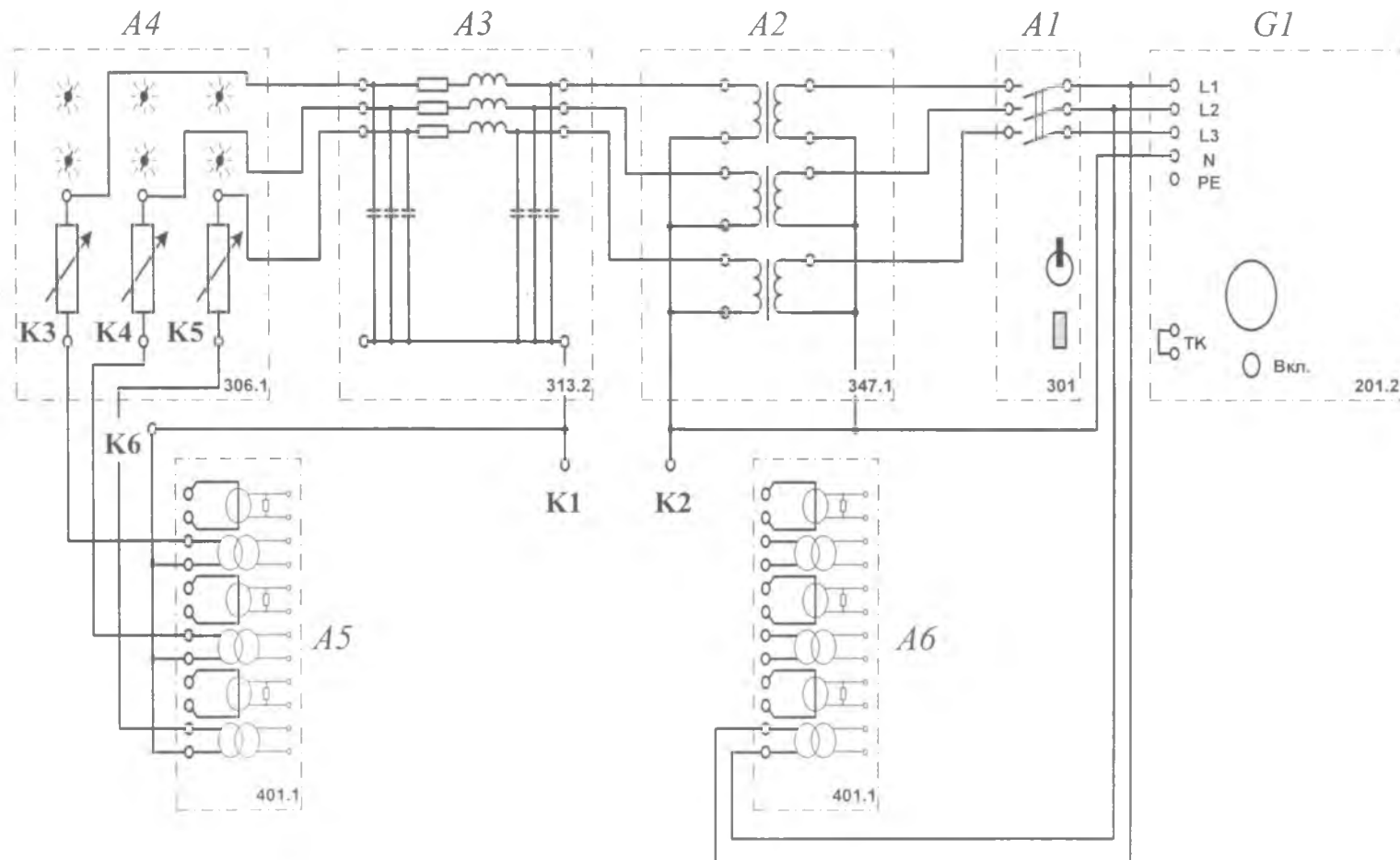
Особенности выполнения устройств защиты с жесткой архитектурой. Обратить внимание студентов, что на промышленных предприятиях находятся в эксплуатации устройства защиты с жесткой архитектурой электромеханического и индукционного принципа действия.

Например, при исполнении электромагнитной части реле обратить внимание на исполнение магнитопровода и число катушек для различных реле, на исполнение якоря и характер его перемещения, наличие и отсутствие демпфера, исполнение контактной системы, возможности плавного или дискретного изменения уставок реле, сравнить массогабаритные показатели исследуемых реле, отметить достоинства и недостатки по сравнению с микропроцессорными защитами. Для индукционного реле по уставке выдержки времени на шкале самого реле тока и току реле следует определить расчетное время срабатывания реле.

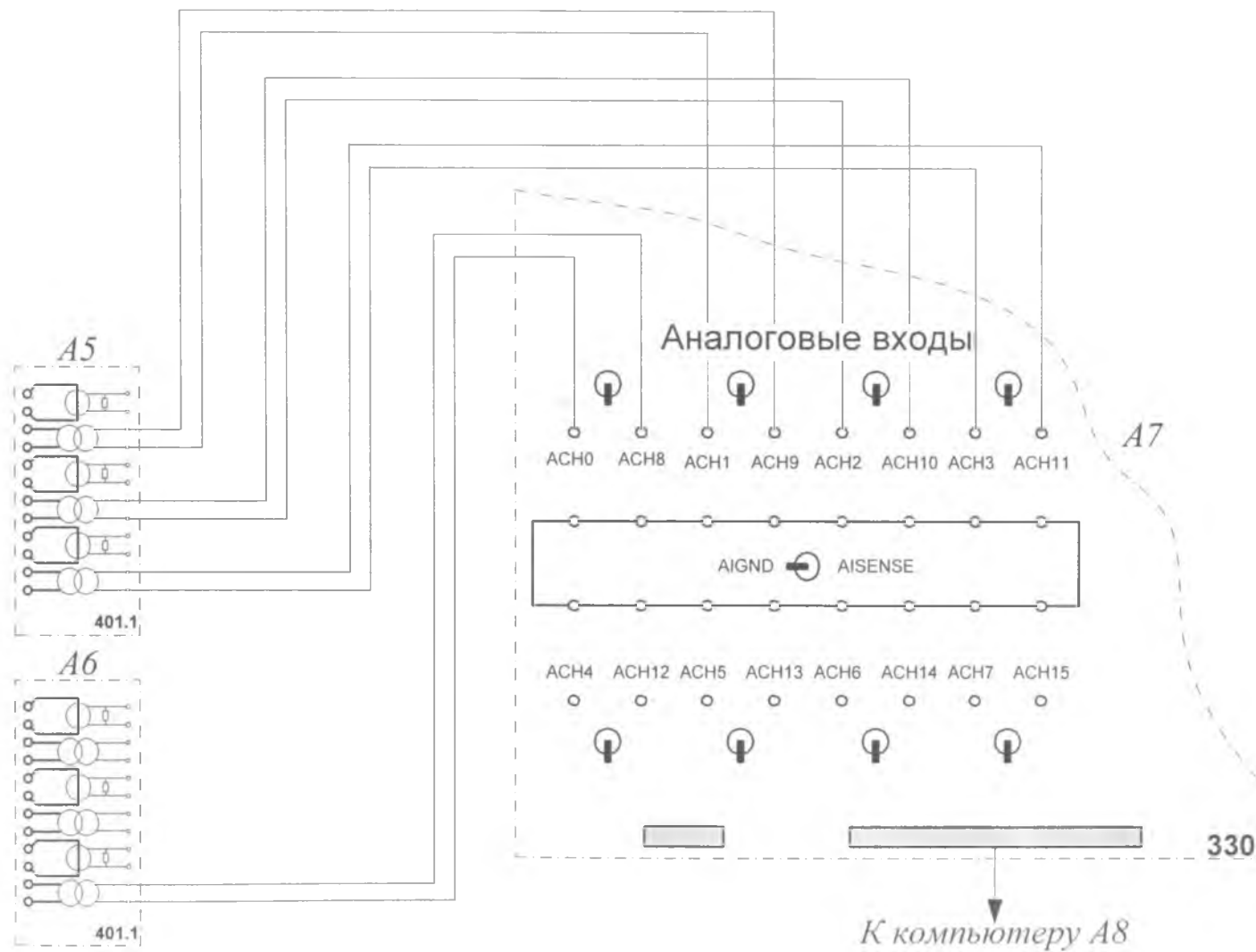
При проверке токовой шкалы следует избегать замыкания контактов у реле, для предотвращения срабатывания отсечки, имеющей низкий коэффициент возврата. При снятии время токовой характеристики реле обратить внимание, что выдержка времени индукционного реле максимального тока зависит от уставки тока, от тока протекающего через реле и уставки времени.

При проверке токовой отсечки, чтобы не работала индукционная часть следует придерживать подвижную рамку. Все результаты исследований следует представлять в отчете в табличном виде.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



7. Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А1 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А2 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А3 переключателями установите, например, следующими: $R = 150 \text{ Ом}$, $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$, $C1=C2=0,15 \text{ мкФ}$. Выберите мощность активной нагрузки А4, например 40% от 50 Вт во всех трех фазах.

8. Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

9. Включите выключатель «СЕТЬ» выключателя А1.

10. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А7, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Трансформаторы напряжения.exe».

11. Для начала сбора данных нажмите на виртуальную кнопку «Пуск».

12. Включите выключатель А1. На экране компьютера отобразятся векторные диаграммы напряжений фаз относительно земли и напряжений на виртуальных реле, а также симметричные составляющие напряжений фаз. На виртуальной схеме соединений трансформаторов напряжения и реле появятся действующие значения напряжений в ее различных частях. Правее этой схемы можно наблюдать осциллограммы напряжений фаз относительно земли.

13. Выберите интересующую схему соединений трансформаторов напряжения из раскрывающегося списка на экране компьютера, изменяйте параметры активной нагрузки А4, вид замыкания и/или режим заземления нейтрали и наблюдайте получающиеся векторные диаграммы.

14. При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- Все векторные диаграммы можно увеличивать и уменьшать, нажимая на кнопки «Масштаб».
- Нажимая на кнопки «Поворот», все векторные диаграммы можно поворачивать. При этом каждый вектор поворачивается вокруг своего начала.
- На векторной диаграмме токов трансформаторов тока и реле каждый из векторов можно двигать параллельно самому себе, используя группы кнопок с красными стрелками. Уменьшить шаг перемещения векторов можно, удерживая при нажатии на кнопку со стрелкой клавишу Shift. Вернуться к начальному положению вектора можно, нажав на кнопку в центре соответствующей группы.
- Масштабирование осциллограмм токов фаз производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

Перечень аппаратуры

Обоз.	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехполюсный выключатель	301	400 В ~; 10 А
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A3	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 x 0,5 А
A4	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3x0...50 Вт;
A5, A6	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A7	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A8	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E

Указания по проведению эксперимента

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда «ТК» источника G1.
3. Соедините гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Смоделируйте режим работы сети – например, для сети с заземленной нейтралью соедините точки K1 и K2.
6. Смоделируйте «короткое замыкание» (в данном случае, строго говоря, короткое замыкание не является таковым, т.к. производится через токоограничивающие сопротивления нагрузки A4) – например, двухфазное на землю фаз А и С, для чего соедините точки K3, K5 и K6 между собой.

- Двигать векторные диаграммы и график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Цвета ветвей схемы, осциллограмм, векторов на векторных диаграммах и надписей около групп кнопок со стрелками соответствуют друг другу.
- Цвета фаз сети соответствуют общепринятым.

15. В качестве опорного напряжения можно использовать отличное от указанного на схеме междуфазное или любое из фазных напряжений (это целесообразно при «нестабильности» векторных диаграмм, т.е. при быстром случайном изменении углов каких-либо векторов).

16. По завершении эксперимента отключите выключатель А1 и источник G1.

Лабораторная работа засчитывается, если отчет содержит необходимые схемы, таблицы и графики, выполненные правильно и аккуратно, и если студент ответил на контрольные вопросы. Кроме того, студент должен знать назначение используемых блоков и уметь объяснять порядок действий при выполнении любого эксперимента в лабораторной работе.

Литература

Основная

1. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем/ Под ред. А.Ф.Дьякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002 – 296 с.
2. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – С-Пб.: Изд-во ПЭиПК, 2003. – 350с.
3. Правила устройства электроустановок Минэнерго СССР. 8-е издание М.: Энергоатомиздат, 2000. – 280с.
- 4 Дьяков Ф.А., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: МЭИ, 2000.

Дополнительная:

5. Окин А.А., Семенов В.А. Противоаварийное управление в ЕЭС России. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.
6. Утегулов Б.Б., Шинтемиров А.М. Микропроцессорные средства определения и способы компенсации тока однофазного замыкания на землю в сетях 6-10 кВ. Под ред. док. техн. наук Утегулова Б.Б. // Павлодар: Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, 2003. – 172 с.
7. Шабад М.А. Выбор характеристик и уставок цифровых токовых защит серии SPACOM. – СПЭИ, 2001.
8. Утегулов Б.Б., Утегулов А.Б., Уахитова А.Б. Основы электробезопасности / Учебное пособие для студентов специальности 050718 – Электроэнергетика по выполнению лабораторных работ – Павлодар: ЭКО, 2009. – 91 с.