

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Электроснабжение»

Д. И. Зализный

**МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ
И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
УСТРОЙСТВА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**ПРАКТИКУМ
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2018

УДК 621.317(075.8)
ББК 31.2я73
3-23

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 28.11.2017 г.)*

Рецензент: зам. декана заоч. фак. ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Ю. А. Рудченко*

Зализный, Д. И.

3-23 Микроэлектронные и микропроцессорные устройства в энергетике : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 63 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-370-7.

Представлены лабораторные работы по микроэлектронным реле, микропроцессорным измерительным и диагностическим приборам, системам АСКУЭ.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.317(075.8)
ББК 31.2я73

ISBN 978-985-535-370-7

© Зализный Д. И., 2018
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ РЕЛЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: изучить принципы работы унифицированного измерительного органа, применяющегося в микроэлектронных реле тока и напряжения.

Краткие теоретические сведения

Измерительный орган – это часть микроэлектронного реле, предназначенная для сравнения измеряемой величины с уставкой и выдачи управляющего сигнала типа «включить-отключить».

Схема унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения приведена на рис. 1.1.

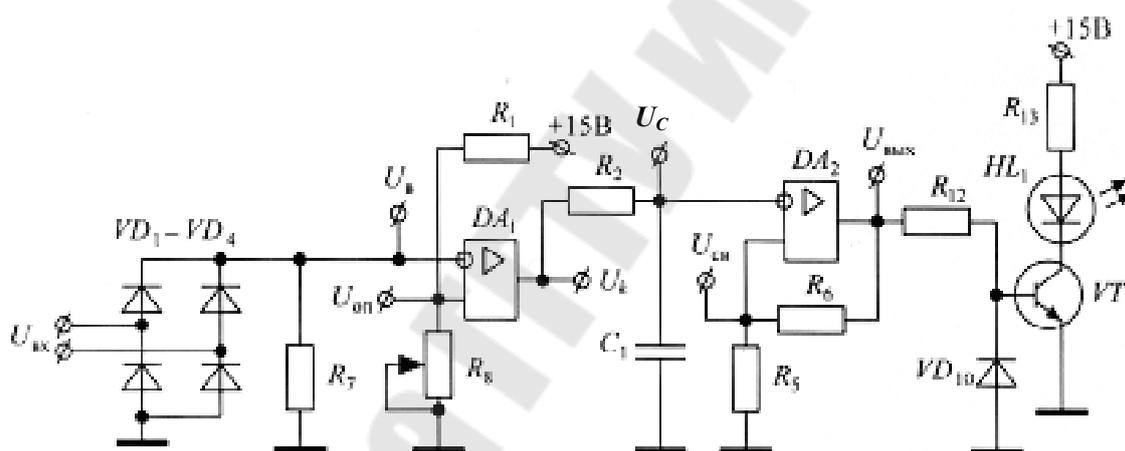


Рис. 1.1. Унифицированный измерительный орган реле тока и напряжения

Входное напряжение $U_{вх}$, пропорциональное току или напряжению в линии электропередачи, выпрямляется с помощью двухполупериодного выпрямителя (диодного моста) на диодах VD_1-VD_4 и поступает на инвертирующий вход операционного усилителя DA_1 , включенного по схеме компаратора. На неинвертирующий вход операционного усилителя DA_1 через делитель R_1, R_8 подается **опорное напряжение** $U_{оп}$ положительного знака, определяющее **уставку** реле. Переменный резистор R_8 позволяет изменять это напряжение, т. е. является регулятором уставки. Резистор R_7 обеспечивает нагрузку для диодного моста.

При отсутствии аварийной ситуации в защищаемой линии, когда амплитуда выпрямленного напряжения $U_{\text{в}} = U_m$ не превышает значение опорного напряжения, на выходе DA_1 наблюдается неизменное напряжение насыщения положительного знака U_k^+ , и конденсатор C_1 заряжен до этого напряжения. На выходе триггера Шмидта, собранного на операционном усилителе DA_2 и резисторах R_5 , R_6 , появляется постоянное напряжение насыщения отрицательного знака $U_{\text{ввых}}^-$, которое через ограничительный резистор R_{12} запирает электронный ключ, собранный на транзисторе VT_1 , и светодиод HL_1 не светится. Это соответствует состоянию возврата для реле. Резистор R_{13} ограничивает ток через светодиод, а диод VD_{10} защищает базу транзистора от недопустимого отрицательного напряжения.

При наличии аварийной ситуации в защищаемой линии электропередачи, например, короткого замыкания, возрастает входное напряжение $U_{\text{вх}}$, амплитуда выпрямленного напряжения $U_{\text{в}} = U_m$ превышает значение опорного напряжения $U_{\text{оп}}$, и на выходе DA_1 появляются импульсы отрицательного знака U_k^- с длительностью $t_{\text{и}}$:

$$t_{\text{и}} = \frac{1}{\pi \cdot f} \cdot \arccos\left(\frac{U_{\text{оп}}}{U_m}\right), \quad (1.1)$$

где f – частота сети.

Длительность паузы между импульсами рассчитывается по формуле

$$t_{\text{п}} = \frac{1}{2 \cdot f} - t_{\text{и}}. \quad (1.2)$$

Получаемые импульсы подаются на интегрирующую цепь, собранную на элементах C_1 и R_2 . В результате перезарядки на конденсаторе C_1 появляется напряжение U_C пилообразной формы. Чем меньше размах пульсаций, тем стабильнее процесс срабатывания реле, но, вместе с тем, ниже быстродействие реле.

Если аварийная ситуация такова, что $t_{\text{и}} > t_{\text{п}}$, среднее значение напряжения U_C станет отрицательным и может достичь напряжения переключения триггера Шмидта $U_{\text{св}}$ на неинвертирующем входе операционного усилителя DA_2 . После переключения триггера Шмидта

на его выходе появится постоянное напряжение насыщения положительного знака $U_{\text{ВЫХ}}^+$, отпирающее транзистор VT_1 . При этом светодиод HL_1 начинает светиться, что соответствует срабатыванию защиты. В типовом реле тока РСТ-11 (РСТ-13) вместо светодиода включена обмотка выходного малогабаритного реле, контакты которого непосредственно воздействуют на катушку отключения выключателя защищаемого объекта.

Триггер Шмидта формирует **коэффициент возврата реле**.

Напряжения срабатывания $U_{\text{св}} = U_{\text{сраб}}$ и возврата $U_{\text{св}} = U_{\text{возв}}$ триггера Шмидта зависят от значений сопротивлений резисторов R_5 и R_6 по формулам:

$$U_{\text{св}} = U_{\text{возв}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^+ R_5}{R_5 + R_6}; \quad (1.3)$$

$$U_{\text{св}} = U_{\text{сраб}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^- R_5}{R_5 + R_6}. \quad (1.4)$$

Триггер Шмидта работает следующим образом:

если $U_C > U_{\text{возв}}$, то $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^-$;

если $U_C < U_{\text{сраб}}$, то $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^+$.

Триггер Шмидта переключается стабильно, если размах пульсаций напряжения U_C не превышает значение $(U_{\text{возв}} - U_{\text{сраб}})$. В противном случае на выходе триггера Шмидта появятся прямоугольные импульсы. В схеме на рис. 1.1 это приведет к постепенному изменению яркости свечения светодиода HL_1 при изменении напряжения $U_{\text{вх}}$. При стабильном переключении светодиод HL_1 либо не светится, либо светится с максимальной яркостью.

Коэффициент возврата реле корректно определять по действующим значениям входного переменного напряжения:

$$K_{\text{возв}} = \frac{U_{\text{вх.возв}}}{U_{\text{вх.сраб}}}, \quad (1.5)$$

где $U_{\text{вх.возв}}$, $U_{\text{вх.сраб}}$ – соответственно, значения входного напряжения при возврате и срабатывании реле.

Описание лабораторной установки

На лицевой панели лабораторного стенда (рис. 1.2) имеются обозначения электронных компонентов и фрагментов собираемых схем, а также гнезда для сборки схем и ручка регулирования переменного резистора.

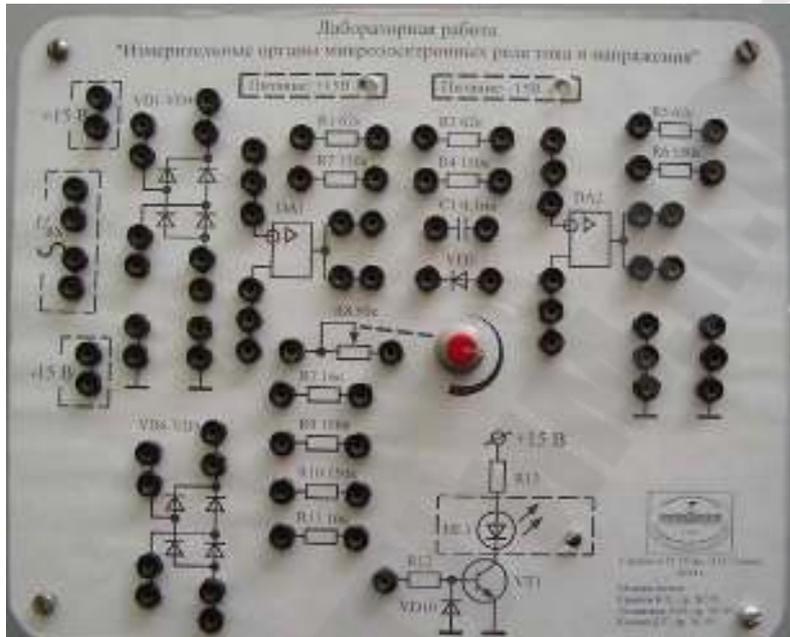


Рис. 1.2. Внешний вид лабораторного стенда

Питание подается через разъем, расположенный на правой боковой панели.

На передней боковой панели стенда имеются два переключателя, позволяющие включать и выключать напряжения питания, равные +15 В и -15 В. Наличие этих напряжений можно контролировать по светодиодам на лицевой панели стенда.

Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ подается на стенд через тот же разъем, что и напряжение питания. Значение напряжения $U_{\text{вх}}$ необходимо изменять с помощью внешнего переменного резистора, закрепленного на столе. Для того чтобы получить напряжение $U_{\text{вх}}$, необходимо включить в розетку понижающий трансформатор, расположенный на столе.

Внимание! Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы напряжения питания стенда необходимо обязательно отключать с помощью переключателей, регулятор напряжения $U_{\text{вх}}$ установить в положение «минимум». Разъем

питания нужно подсоединить в начале работы, убедившись, что переключатели находятся в положении «отключено», регулятор напряжения $U_{вх}$ находится в положении «минимум», понижающий трансформатор отключен от сети, и затем отсоединить в конце работы.

Внимание! Перед включением все схемы должен проверить преподаватель.

Внимание! Во избежание обрыва соединительных перемычек извлекать их из гнезд нужно, удерживая за корпуса штырей.

Для проведения работы необходим двухканальный осциллограф и универсальный цифровой вольтметр В7-77.

Внимание! Во избежание выхода из строя прибора В7-77 измерения в режиме омметра проводить только на стенде с отключенным питанием и разобранной схемой. После измерений переключатель прибора вернуть в режим вольтметра.

Все измерения проводятся относительно общего провода, обозначенного символами  на стенде. При измерениях на постоянном напряжении к этому проводу должен быть подключен щуп вольтметра «—».

Измерения осуществляются путем подключения измерительных проводов приборов к специальным штырькам с жесткими выводами.

Порядок выполнения работы

Сборка и настройка схемы

1. Соберите схему унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения (рис. 1.1).

2. Подключите первый канал осциллографа к точкам измерения напряжения $U_{в}$.

3. Вольтметр постоянного напряжения подключите к точкам измерения напряжения $U_{оп}$.

4. Подайте питание на стенд и резистором R_8 установите любое значение опорного напряжения (от 1 до 2,5 В), что будет соответствовать уставке реле.

5. Включите источник входного напряжения в розетку.

Изучение работы компаратора

6. Изменяя входное напряжение $U_{вх}$, добейтесь порога срабатывания реле, наблюдая за светодиодом.

7. По осциллографу измерьте амплитуду напряжения на выходе диодного моста U_B .

8. Рассчитайте длительность отрицательных импульсов $t_{\text{и}}$ и положительных пауз $t_{\text{п}}$ по формулам (1.1) и (1.2) (установив на калькуляторе радианы, если $\pi = 3,14$).

9. Определите экспериментальные значения $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$ по осциллографу, переключив сигнальный провод осциллографа на выход DA_1 и установив максимальный масштаб по соответствующему каналу.

Изучение работы интегрирующей цепи

10. Подключите второй канал осциллографа к точке измерения напряжения U_C и зарисуйте полученные осциллограммы на входе и выходе интегрирующей цепи (R_2, C_1). Объясните эти осциллограммы.

11. По осциллограмме измерьте размах пульсаций напряжения U_C .

12. Увеличьте входное напряжение $U_{\text{вх}}$ в 1,5 раза и снова зарисуйте осциллограммы. Объясните полученный результат.

Изучение работы триггера Шмидта

13. Переключите первый канал осциллографа к точке измерения напряжения $U_{\text{св}}$.

14. Изменяя входное напряжение $U_{\text{вх}}$, опишите словесно явления, наблюдаемые на экране осциллографа по обоим каналам. Объясните эти явления.

15. В моменты срабатывания и возврата реле измерьте с помощью осциллографа напряжения $U_{\text{св}} = U_{\text{сраб}}$ и $U_{\text{св}} = U_{\text{возв}}$.

16. Рассчитайте значения напряжения $U_{\text{св}} = U_{\text{сраб}}$ и $U_{\text{св}} = U_{\text{возв}}$ по формулам (1.3) и (1.4). Сравните эти значения с соответствующими экспериментальными значениями.

17. Изменяя входное напряжение $U_{\text{вх}}$, с помощью вольтметра переменного напряжения измерьте напряжение $U_{\text{вх}}$ в моменты срабатывания и возврата реле. Рассчитайте коэффициент возврата по формуле (1.5).

18. Предварительно снизив входное напряжение до минимума и отключив питание стенда, вместо резистора R_5 подключите к схеме резистор R_{11} .

19. Первый канал осциллографа подключите к точке измерения напряжения $U_{\text{вых}}$.

20. Включите питание и, изменяя входное напряжение, опишите словесно явления, наблюдаемые на экране осциллографа и на светодиоде HL_1 . Объясните эти явления.

21. Повторите п. 15–17. Сравните полученные результаты с аналогичными результатами, полученными ранее. Объясните полученные результаты.

22. Снизьте входное напряжение до минимума, отключите питание и разберите схему.

Содержание отчета

Названия опытов, чертежи исследуемых схем, выполненные по ГОСТ, описание хода работы, результаты расчетов, осциллограммы, объяснения изучаемых явлений.

Осциллограммы изобразить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

Контрольные вопросы

1. Назначение, основные расчетные соотношения и осциллограммы работы входного компаратора унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения.

2. Назначение и осциллограммы работы интегрирующей цепи унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения.

3. Назначение, основные расчетные соотношения и осциллограммы работы триггера Шмидта унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения.

4. Условия стабильного переключения триггера Шмидта унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения.

Лабораторная работа № 2

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ВОЛЬТАМПЕРФАЗОМЕТР

Цель работы: получить навыки эксплуатации цифрового вольт-амперфазометра М4185.

Краткие теоретические сведения

Вольтамперфазометр (ВАФ) М4185 предназначен для измерения:

- истинных (*RMS – root mean squared*) действующих значений напряжений и токов в трехфазной электрической сети;
- активной, реактивной и полной мощности одновременно в каждой фазе;
- угла сдвига фаз между фазными напряжениями и между фазным напряжением и линейным током в соответствующих фазах;
- минимальных (*MIN*), максимальных (*MAX*) и средних (*AVR*) действующих значений напряжений и токов, активной, реактивной и полной мощности, а также энергии за требуемые интервалы времени.

ВАФ обеспечивает измерение переменного напряжения в диапазоне от 25 до 440 В и переменного тока от 1 до 100 А (с помощью токоизмерительных клещей).

На дисплее ВАФ предусмотрен вывод векторных диаграмм.

ВАФ имеет 6 режимов: «Конфигурация сети», «Измерение сети», «Накопление данных», «Просмотр данных», «Настройка прибора», «Зарядка аккумуляторной батареи».

В режимах «Конфигурация сети» и «Измерение сети» можно просмотреть измеренные значения величин и векторные диаграммы.

С помощью режимов «Накопление данных» и «Просмотр данных» можно анализировать показатели сети за некоторое время. При этом в процессе накопления данных на лицевой панели прибора должен светиться светодиод.

Принцип действия ВАФ основан на аналого-цифровом преобразовании сигналов напряжения и тока. Программное обеспечение микроконтроллера ВАФ рассчитывает истинные действующие значения напряжения по формуле

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T U^2(t) \cdot dt} \approx \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i^2 \cdot \Delta t} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i^2}, \quad (2.1)$$

где T – период напряжения электрической сети; i – номер расчетного интервала; n – количество точек (отсчетов) напряжения в расчетном интервале времени T ; $\Delta t = \frac{T}{n}$ – период дискретизации.

Ток I_{RMS} рассчитывается аналогично:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} I_i^2}. \quad (2.2)$$

Значения U_{RMS} и I_{RMS} называются истинными, так как учитывают все высшие гармонические составляющие.

Полная мощность, потребляемая нагрузкой по фазе «А», определяется по формуле

$$S_A = U_{RMS.A} \cdot I_{RMS.A}, \quad (2.3)$$

где $U_{RMS.A}$ – фазное напряжение; $I_{RMS.A}$ – линейный ток.

Активная мощность нагрузки по фазе «А» рассчитывается по мгновенным значениям следующим образом:

$$P_A = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U(t) \cdot I(t) \cdot dt \approx \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i \cdot I_i \cdot \Delta t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i \cdot I_i. \quad (2.4)$$

Реактивная мощность нагрузки по фазе «А» рассчитывается по формуле

$$Q_A = \sqrt{S_A^2 - P_A^2}. \quad (2.5)$$

Коэффициент мощности по фазе «А» определяется следующим образом:

$$K_A = \frac{P_A}{S_A}. \quad (2.6)$$

Для фаз «В» и «С» расчет аналогичен.

Формулы (2.3)–(2.6) учитывают все высшие гармонические составляющие в составе напряжений и токов. При этом коэффициент мощности, рассчитанный по (2.6), совпадает со значением $\cos \varphi$ нагрузки только при идеальной синусоидальной форме напряжений и токов.

Одна из главных функций ВАФ – выявление ошибок, допущенных при сборке схем в трехфазных сетях. Можно выделить два вида таких ошибок: нарушение полярности подключения токовых цепей к входам прибора и нарушение чередования фаз. С помощью анализа векторных диаграмм и значений фазовых сдвигов на экране ВАФ эти ошибки могут быть обнаружены.

Рассмотрим наиболее распространенный вариант трехфазной активно-индуктивной нагрузки, соединенной в схему звезды с глухозаземленной нейтралью (рис. 2.1).

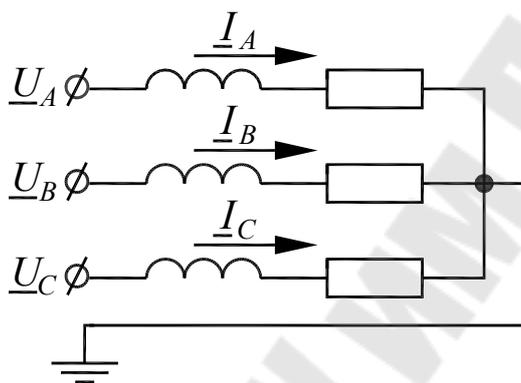


Рис. 2.1. Схема трехфазной нагрузки

Варианты векторных диаграмм для этой схемы при отсутствии и наличии ошибок подключения показаны на рис. 2.2.

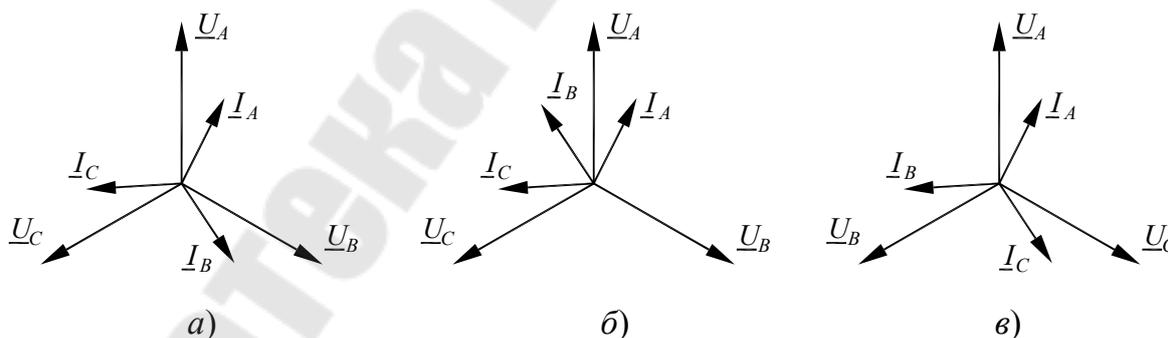


Рис. 2.2. Векторные диаграммы для активно-индуктивной нагрузки:

а – без ошибок подключения; *б* – неверная полярность тока фазы «В»; *в* – нарушение чередования фаз

При нарушении полярности подключения тока на векторной диаграмме он будет повернут на угол 180° относительно своего верного положения.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на лабораторной установке «Микропроцессорные системы АСКУЭ» (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Внешний вид лабораторной установки

В работе используется следующее оборудование:

1. Мультиметр энергетический МЭ-01.
2. Цифровой вольтамперфазометр (ВАФ) М4185.

Все устройства в лабораторной установке подключены стационарно. Схема подключения приведена на рис. 2.4.

К фазным напряжениям сети 380 В подключены лабораторные автотрансформаторы T_1 , T_2 , T_3 . Их выходы соединены с соответствующими понижающими трансформаторами T_4 , T_5 , T_6 , рассчитанными на работу в режиме короткого замыкания. На вторичных обмотках этих трансформаторов формируются токи значениями до 7 А, а из сети потребляются токи не более 0,1 А. Таким образом, регулируя напряжения на выходах автотрансформаторов, можно регулировать входные токи мультиметра. Регуляторы автотрансформаторов выведены на лицевую панель стенда (см. рис. 2.3).

Мультиметр МЭ-01 включен в цепи токов понижающих трансформаторов T_4 , T_5 , T_6 непосредственно, а вольтамперфазометр М4185 – через токовые клещи T_7 , T_8 , T_9 .

Понижающие трансформаторы T_4 , T_5 , T_6 формируют активно-индуктивные токи. По этой причине схема лабораторной установки эквивалентна схеме на рис. 2.1.

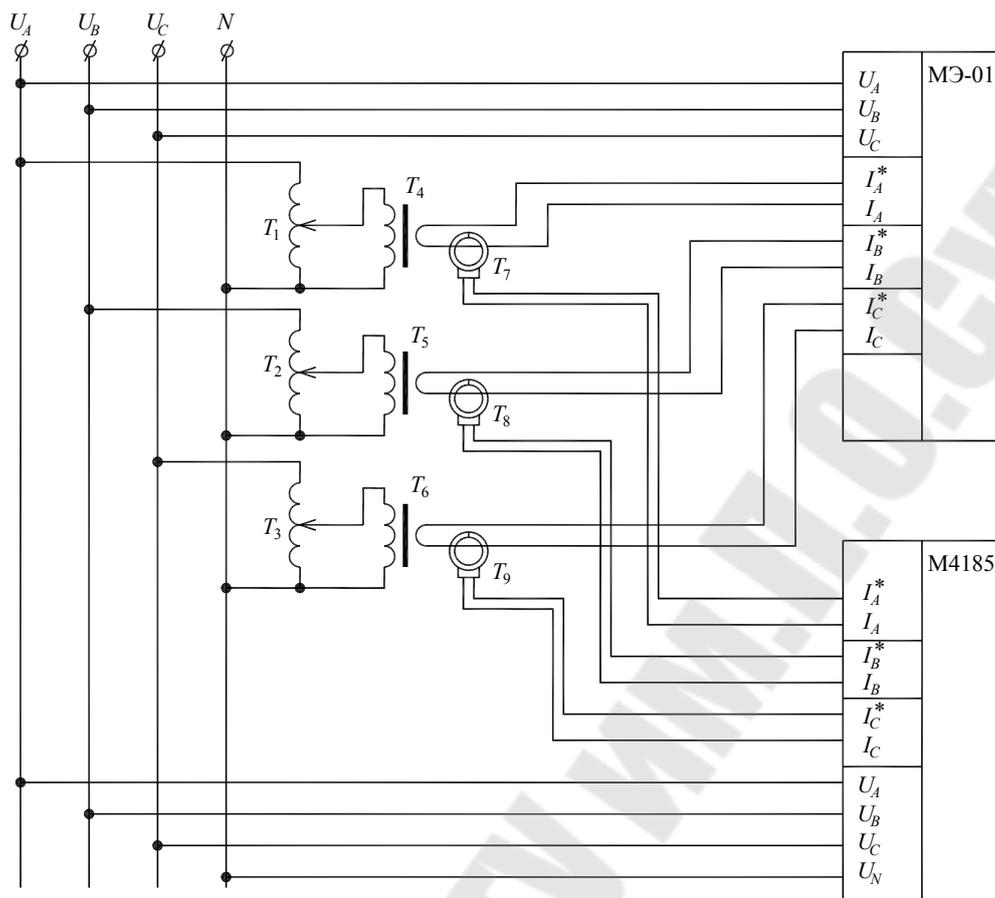


Рис. 2.4. Схема подключения приборов в лабораторной установке

При сборке схемы установки специально были допущены ошибки, которые необходимо будет выявить в процессе выполнения лабораторной работы.

Меры по технике безопасности

Перед началом работы убедиться, что автоматический выключатель стенда находится в положении «отключено», а все регуляторы тока в положении «минимум».

Порядок выполнения работы

1. Подключите токовые клещи ВАФ таким образом, чтобы стрелки, указывающие направления токов, были снаружи.
2. Включите стенд и установите произвольные приблизительно равные значения токов фаз не ниже 3 А, контролируя их с помощью мультиметра.

3. Запишите все показания мультиметра, перемещаясь по его меню с помощью кнопок «◀» и «▶» и используя Приложение 1.
4. Включите ВАФ, нажав кнопку питания.
5. Нажмите кнопку «Режим» и убедитесь, что на экране отображается режим «Измерение сети».
6. Последовательно нажимая клавишу «Ввод», а затем клавиши «◀» и «▶», запишите все показания прибора и зарисуйте в масштабе все векторные диаграммы. Объясните полученные результаты и сравните их с показаниями мультиметра.
7. Проанализировав векторные диаграммы, найдите ошибку, специально допущенную в лабораторной установке в направлении токов (какие из токов направлены неверно?). Критерии поиска ошибки: все токи должны иметь правильное чередование по фазам, и нагрузка в каждой фазе должна быть активно-индуктивной (рис. 2.1). Подробно опишите полученные результаты и продемонстрируйте их преподавателю.
8. В соответствии с найденной ошибкой подключите токовые клещи ВАФ таким образом, чтобы на экране все векторные диаграммы отображались верно.
9. Установите произвольные неравные значения токов фаз не ниже 3 А.
10. Повторите п. 3 и п. 6. Объясните полученные результаты.
11. Придумайте ориентировочную форму графика нагрузки сети (зависимость мощности от времени без значений мощности) на 5 минут с интервалами в 30 секунд.
12. В ВАФ выберите кнопкой «Режим» режим «Накопление данных».
13. Нажмите кнопку «Ввод». Начнет светиться светодиод, данные начнут накапливаться. В течение 5 минут каждые 30 секунд изменяйте значения токов в соответствии с требуемой формой графиком нагрузки и записывайте полученные значения токов с экрана мультиметра.
14. Нажмите «Ввод» и выберите режим «Остановить накопление».
15. Выберите кнопкой «Режим» режим «Просмотр данных».
16. С помощью клавиш «◀» и «▶» выберите весь период и, последовательно нажимая «Ввод», запишите все данные.
17. Объясните полученные результаты.
18. Отключите ВАФ нажатием кнопки питания.
19. Отключите стенд.

Содержание отчета

Цель работы, схема лабораторного стенда (рис. 2.4), комментарии к ходу работы, результаты измерений и векторные диаграммы с подробными выводами и предположениями по ним, графики нагрузки.

Контрольные вопросы

1. Что такое истинное действующее значение и как оно рассчитывается в микропроцессорных приборах?
2. Объясните формулы (2.3)–(2.6).
3. Подставьте (2.1) и (2.2) в (2.3) и максимально упростите результат с помощью алгебраических преобразований.
4. Поясните с помощью формул, в чем разница между коэффициентом мощности и $\cos \varphi$.
5. Объясните принцип работы схемы на рис. 2.4.
6. Какие функции выполняет ВАФ М4185?
7. Каково назначение органов управления ВАФ М4185?
8. Какие выводы можно делать по показаниям ВАФ М4185?

Лабораторная работа № 3

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы: получить навыки эксплуатации приборов ИФН-200 и ИС-10.

Краткие теоретические сведения

В энергетике применяют различные виды измерителей сопротивлений: микроомметры, миллиомметры, омметры, мегаомметры, измерители импедансов и др. В данной лабораторной работе изучаются: измеритель сопротивления петли «фаза-нуль» ИФН-200 и измеритель сопротивления заземления ИС-10.

Измеритель сопротивления петли «фаза-нуль» – это прибор для измерения сопротивления электрической сети непосредственно под напряжением.

Прибор ИФН-200 выполняет следующие функции:

- измерение полного, активного и реактивного сопротивления цепи фаза-нуль, без отключения источника питания с номинальным напряжением 220 В;
- измерение напряжения переменного тока;
- измерение сопротивления постоянному току (режим омметра);
- измерение сопротивления металlosвязи током до 250 мА для сопротивлений <math><20\text{ Ом}</math>;
- вычисление ожидаемого тока короткого замыкания в точке подключения прибора.

Петля «фаза-нуль» – это участок сети от вторичной обмотки силового трансформатора до электроприемника. Такой участок сети может быть представлен в виде схемы замещения, состоящей из источника переменного напряжения U_c и сопротивлений R_c и X_c , как показано на рис. 3.1.

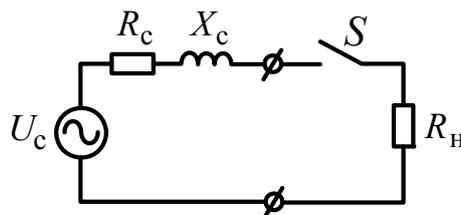


Рис. 3.1. Схема замещения сети с подключенным прибором ИФН-200

Вначале прибор ИФН-200 при разомкнутом ключе S (см. рис. 3.1) измеряет амплитудное значение и фазу напряжения U_c . Затем ключ S замыкается на 25 мс, подключая к сети нагрузку $R_H = 10$ Ом. При этом измеряется амплитудное значение и фаза тока нагрузки I_H . В результате получается система из двух уравнений:

$$\begin{cases} I_H = \frac{U_c}{\sqrt{(R_c + R_H)^2 + X_c^2}}; \\ \operatorname{tg}\varphi = \frac{X_c}{R_c + R_H}, \end{cases} \quad (3.1)$$

где φ – разность фаз между напряжением U_c и током I_H .

Решив систему (3.1), можно получить выражения для R_c и X_c (сделайте это самостоятельно). Эти выражения и использует программное обеспечение прибора.

По значениям R_c и X_c можно судить о качестве электропроводки, а также о правильности выбора автоматических выключателей.

Качество электропроводки в электрической сети под сомнением, когда $R_c > 0,5$ Ом; $X_c > 1$ Ом. Основная причина такой ситуации – увеличение сопротивления контактов в распределительных щитках, разветвительных коробках и розетках.

Правильность выбора автоматического выключателя можно проверить по условию

$$I_{\text{эм.р}} < I_{\text{кз}}, \quad (3.2)$$

где $I_{\text{эм.р}}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя; $I_{\text{кз}}$ – расчетный ток короткого замыкания.

Прибор ИС-10 предназначен для измерения сопротивления элементов заземления, металлосоединений и непрерывности защитных проводников по четырехпроводному методу. Имеется функция автоматического вычисления удельного сопротивления грунта.

С помощью токовых клещей прибор измеряет переменный ток в заземлителях без разрыва измеряемой цепи, что позволяет сделать качественную оценку их состояния.

Кнопка «РЕЖИМ» используется для переключения прибора в режимы двух-, трех- и четырехпроводного методов измерения, измерения с автоматическим расчетом удельного сопротивления грунта и работы с клещами для измерения тока или определения процентно-

го распределения токов. При входе в режим «МЕНЮ» эта кнопка выполняет функцию движения по меню вверх.

Кнопка «МЕНЮ» предназначена для перехода прибора в режим установки параметров. После входа в «МЕНЮ» кнопка выполняет функцию движения по меню вниз.

Диапазон измерения сопротивления контура заземления: от 1 мОм до 10 кОм.

Функциональная схема измерения сопротивления заземления по четырехпроводному методу приведена на рис. 3.2.

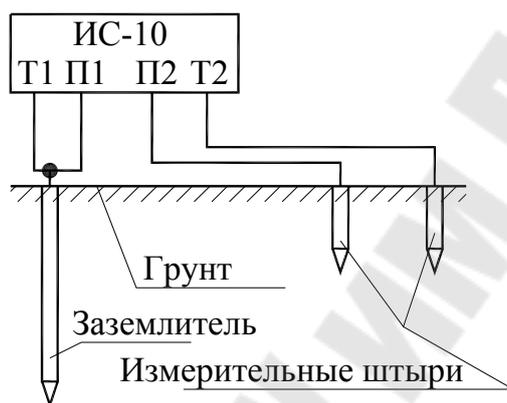


Рис. 3.2. Схема измерения сопротивления заземления по четырехпроводному методу

Прибор имеет токовые выходы Т1 и Т2, а также потенциальные входы П1 и П2. Через выходы Т1 и Т2 он формирует измерительный стабилизированный импульсный ток переменной полярности (меандр) с частотой 128 Гц. Амплитудное значение силы тока не более 260 мА, максимальное амплитудное значение выходного напряжения без нагрузки не более 42 В. Падение напряжения в измеряемой цепи при стабилизированном токе пропорционально ее сопротивлению. Это напряжение измеряется через входы П1 и П2, фильтруется и поступает на входной усилитель, а затем на АЦП. Двоичные коды, сформированные АЦП, передаются в микроконтроллер, где осуществляется расчет требуемых величин и их отображение на дисплее.

Подключение к заземлителям осуществляется с помощью специальных щупов и зажимов, а соединение с землей – с помощью погружных металлических штырей длиной 1 м.

Порядок определения сопротивления заземления по четырехпроводному методу следующий:

1. Определить максимальную диагональ D заземляющего устройства (ЗУ).

2. Соединить ЗУ при помощи измерительных кабелей с гнездами Т1 и П1.

3. Потенциальный штырь П2 установить в грунт на расстоянии $1,5D$, но не менее 20 м от измеряемого ЗУ.

4. Токовый штырь Т2 установить в грунт на расстоянии более $3D$, но не менее 40 м от ЗУ. Подключить соединительный кабель к разъему Т2 прибора. Произвести серию измерений сопротивления заземления при последовательной установке потенциального штыря П2 в грунт на расстоянии 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 % от расстояния до токового штыря Т2 четырехпроводным методом.

5. Построить график зависимости сопротивления от расстояния между ЗУ и потенциальным штырем П2. Если кривая монотонно возрастает и имеет в средней части достаточно горизонтальный участок (при расстояниях 40 и 60 % разница значений сопротивления меньше 10 %), то за истинное принимается значение сопротивления при расстоянии 50 %. В противном случае все расстояния до штырей необходимо увеличить в 1,5–2 раза или изменить направление установки штырей для уменьшения влияния надземных или подземных коммуникаций.

Схема для определения удельного сопротивления грунта с помощью прибора ИС-10 показана на рис. 3.3.

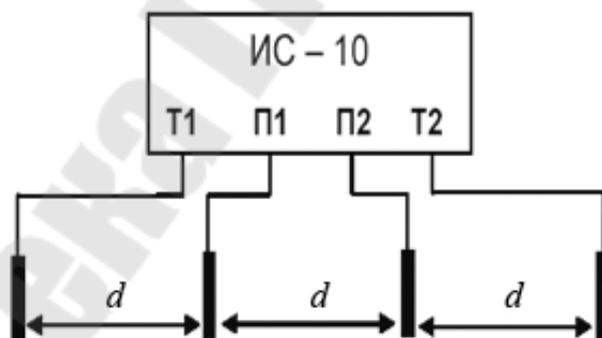


Рис. 3.3. Схема для определения удельного сопротивления грунта

Значение удельного сопротивления грунта рассчитывается по методике измерения Вернера. Эта методика предполагает равные расстояния между электродами d , которые следует принимать не менее чем в 5 раз больше глубины погружения штырей.

Измерительные штыри устанавливают в грунт по прямой линии, через равные расстояния d и соединяют с измерительными гнездами Т1, П1, П2 и Т2, выбрав режим четырехпроводного метода измерения. Затем необходимо нажать кнопку «Rx», считать показания значения сопротивления R_E .

Удельное сопротивление грунта рассчитывается по формуле

$$\rho_{уд} = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot R_E. \quad (3.3)$$

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на стенде «Микропроцессорные измерители сопротивлений» (рис. 3.4).

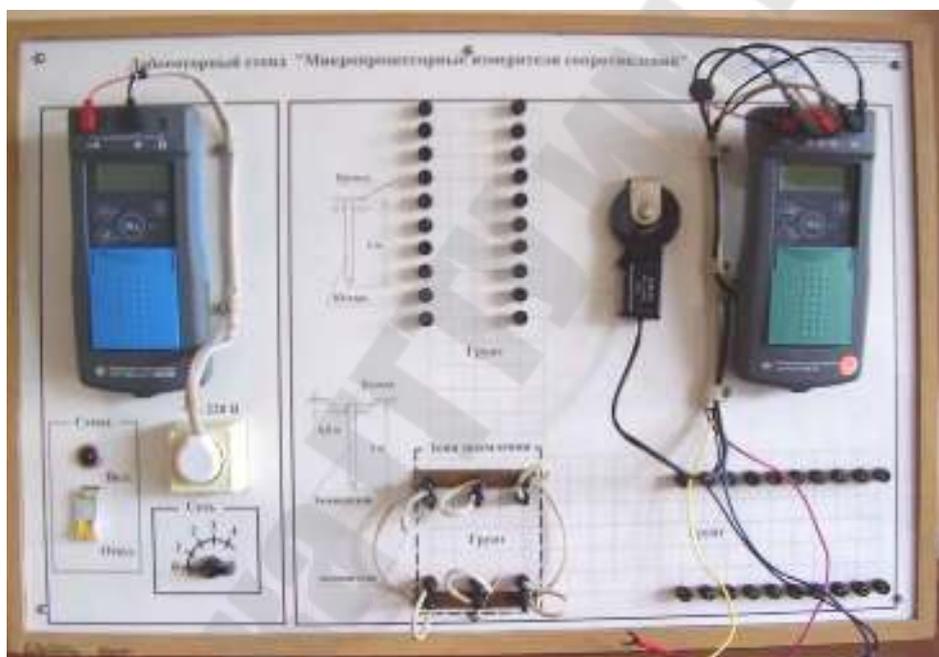


Рис. 3.4. Внешний вид лабораторной установки

В работе используется следующее оборудование:

1. Измеритель сопротивления петли «фаза-нуль» ИФН-200.
2. Измеритель сопротивления заземления ИС-10.

Левая часть стенда предназначена для работы с прибором ИФН-200, под которым располагается розетка 220 В и переключатель «Сеть», имеющий 5 позиций. Изменяя позицию переключателя, можно подключать к розетке петли «фаза-нуль» с различными параметрами.

Все элементы средней и правой частей лабораторного стенда относятся к прибору ИС-10.

Сетка, изображенная на лицевой панели стенда, имитирует вид сверху на местность, имеющей грунт с разными характеристиками. Сетка имеет шаг h , значения которого по вариантам приведены в табл. 3.1. Этот шаг выполняет функцию масштаба.

Клеммы, расположенные в узлах сетки, позволяют проводить измерение сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта в четырех направлениях и имитируют точки погружения измерительных штырей в землю.

Таблица 3.1

Значения шага сетки грунта и количество заземлителей

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
h, м	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество задействованных заземлителей	6	5	4	6	5	4	6	5

В зоне заземления имитируются 6 заземлителей, которые можно подключать к общему контуру с помощью проводов-перемычек, образующих наружную петлю. При обхвате присоединенной перемычки заземлителя токовыми клещами осуществляется измерение тока, протекающего через этот заземлитель. Если перемычку отсоединить, то соответствующий заземлитель будет отключен от общего контура заземления. Требуемое количество заземлителей, подключаемых к общему контуру, по вариантам дано в табл. 3.1.

Подключение измерительных проводов прибора к клеммам в зоне заземления эквивалентно их соединению с заземлителями.

Порядок выполнения работы

Работа с прибором ИФН-200

1. Установите переключатель «Сеть» в положение «0».
2. Убедитесь, что измерительные щупы прибора ИФН-200 включены в розетку, располагающуюся под ним.
3. Включите стенд и прибор ИФН-200. Если на дисплее появилось изображение зарядки аккумулятора или прибор не включается, то позвоните преподавателя. **Внимание!** Не допускается работа с прибором во время зарядки аккумулятора!
4. Кратковременно нажмите кнопку «Rx» и дождитесь окончания измерений.

5. Нажимая кнопку «Дисп/Меню», запишите все имеющиеся показания.

6. Повторите п. 4–5 для всех положений переключателя «Сеть».

7. Проанализируйте измеренные величины и сделайте выводы о качестве электропроводки, а также о возможных неисправностях в сети.

8. По значениям полученных токов короткого замыкания определите, для каких вариантов сети подходит автоматический выключатель, имеющийся в лабораторном стенде. Для этого выпишите данные с лицевой панели выключателя и найдите его справочные данные.

9. Войдите в меню прибора, нажав кнопку «Дисп/Меню» и удерживая ее не менее 1,5 с.

10. С помощью кнопок «▲» и «▼» выберите разделы «Память» и «Просмотр». Выпишите показания из двух произвольных ячеек. Выйдите из меню, нажав «Rx».

11. Отключите прибор ИФН-200 кнопкой питания.

Работа с прибором ИС-10

1. В соответствии с вариантом задания и табл. 3.1 с помощью проводов-перемычек обеспечьте подключение необходимого количества заземлителей к общему контуру заземления.

2. Зная значение шага сетки h (табл. 3.1), определите значение максимальной диагонали D заземляющего устройства (расстояния рассчитывайте между соответствующими клеммами, имитирующими заземлители).

3. Выберите одно из четырех имеющихся направлений грунта.

4. Соедините входы Т1 и П1 прибора ИС-10 с **задействованным** заземлителем, **ближайшим** к выбранному направлению.

5. Рассчитайте расстояние от выбранного заземлителя до самой дальней точки погружения измерительных штырей в выбранном направлении. Убедитесь, что это расстояние составляет более $3D$ и не менее 40 м от заземляющего устройства.

6. Рассчитайте расстояние от выбранного заземлителя до ближайшей точки погружения измерительных штырей в выбранном направлении. Убедитесь, что это расстояние составляет более $1,5D$ и не менее 20 м от заземляющего устройства.

7. Измерительный провод от гнезда Т2 прибора соедините с самой дальней от зоны заземления клеммой грунта в выбранном направлении (что соответствует погружению измерительного штыря в грунт).

8. Измерительный провод от гнезда П2 прибора соедините с ближайшей к зоне заземления клеммой грунта в выбранном направлении (что соответствует погружению измерительного штыря в грунт).

9. Включите прибор ИС-10 кнопкой питания.

10. Нажимая кнопку «Режим», получите в левом нижнем углу дисплея символ «4П», что соответствует четырехпроводному методу измерения.

11. Кратковременно нажмите кнопку «Rx» и запишите значение сопротивления.

12. Переставляя потенциальный штырь П2, проведите измерение сопротивлений по всем клеммам грунта в выбранном направлении.

13. Повторите п. 3–12 для остальных участков грунта в трех имеющихся направлениях.

14. По методике, рассмотренной в теоретической части, с построением необходимых графиков для каждого из четырех направлений грунта рассчитайте сопротивление заземления **или** сделайте выводы о невозможности его расчета в связи с влиянием внешних факторов (трубопроводы, кабельные линии и т. д.).

15. Сделайте заключение о качестве заземления для электроустановок ниже 1 кВ в соответствии с требованиями ТКП-339.

16. Войдите в меню прибора, нажав кнопку «Меню», и выберите разделы «Память», а затем «Просмотр». Выпишите содержимое нескольких ячеек памяти. Выйдите из меню.

17. Установите все четыре электрода прибора для измерения удельного сопротивления грунта в направлении, указанном преподавателем, соблюдая между ними требуемые расстояния (см. теоретическую часть).

18. Проведите измерение удельного сопротивления грунта по методике, рассмотренной в теоретической части, воспользовавшись формулой (3.2).

19. Повторите измерение удельного сопротивления грунта в автоматическом режиме. Для этого с помощью кнопки «Режим» выберите режим «Руд» и войдите в меню, нажав кнопку «Меню». Выберите раздел «Уст. расст.» и кнопками «▲» и «▼» установите требуемое расстояние между электродами. Подтвердите выбор и выйдите из меню с помощью кнопки «Rx». Проведите измерение и сравните результат с результатом, полученным в п. 18.

20. Определите тип грунта, воспользовавшись Приложением 2.

21. Кнопкой «Режим» выберите режим «mA».

22. Отсоедините измерительные провода прибора от схемы и положите их так, чтобы между ними не было короткого замыкания.

23. Подсоедините токовые клещи к одному из задействованных заземлителей.

24. Нажмите и удерживайте кнопку «Rx», пока на дисплее не появится результат измерения.

25. Измерьте значения токов во всех задействованных заземлителях. **Внимание!** После работы с клещами для безопасности прибора необходимо либо перейти в режим измерения сопротивления, либо выключить прибор.

26. Отключите прибор ИС-10 кнопкой питания.

27. Приняв суммарный ток за 100 %, рассчитайте процентное распределение токов в заземлителях. Сделайте выводы о состоянии заземлителей.

28. Отключите стенд.

Содержание отчета

Цель работы, комментарии к ходу работы, схемы измерений, результаты измерений, графики, подробные выводы по каждому результату измерений.

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип работы прибора ИФН-200.
2. Вывод выражений для R_c и X_c из (3.1).
3. Функциональные возможности прибора ИФН-200.
4. Назначение и принцип работы прибора ИС-10.
5. Методика измерения сопротивления заземления четырехпроводным методом с помощью прибора ИС-10.
6. Методика измерения удельного сопротивления грунта с помощью прибора ИС-10.
7. Функциональные возможности прибора ИС-10.

Лабораторная работа № 4

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Цель работы: изучить методы определения направления мощности в электрических сетях и принципы функционирования электронных измерительных органов, реализующих эти методы.

Краткие теоретические сведения

Контроль направления мощности в электрических сетях – важная составляющая систем релейной защиты, автоматики и учета электроэнергии. Измерительные органы, реагирующие на знак этой мощности, могут быть реализованы как аппаратно, так и программно. В обоих случаях их принципы функционирования одинаковы.

Измерительный орган направления мощности (ИОНМ) – это схема, реагирующая на фазовый сдвиг φ между напряжением U_p и током I_p , которые подаются на его входные цепи. Направление мощности срабатывания реле S_p зависит от этого фазового сдвига. Уравнение срабатывания реле имеет вид:

$$\text{sign}[S_p] = \text{sign}[U_p I_p \cos(\varphi + \alpha)] = \text{sign}[U_p I_p \cos((\varphi_U - \varphi_I) + \alpha)], \quad (4.1)$$

где sign – знак выражения; α – угол внутреннего сдвига в ИОНМ.

Из (4.1) следует, что при $\alpha = 0^\circ$ ИОНМ срабатывает при положительном направлении активной мощности.

Наиболее распространенная область применения ИОНМ – токовые направленные защиты. Контроль знака мощности осуществляется, как правило, по так называемой «девятистопградусной» схеме включения, как показано на рис. 4.1.

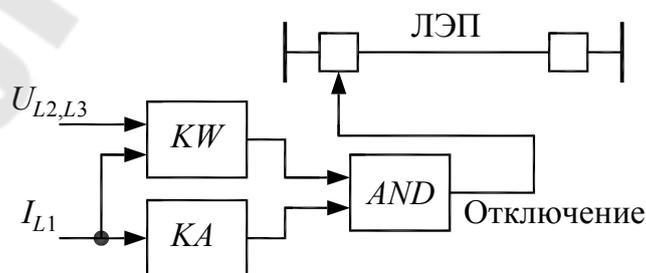


Рис. 4.1. Структурная схема направленной токовой защиты:

KW – измерительный орган направления мощности;

KA – измерительный орган тока; AND – логический элемент «И»

ИОНМ в направленной токовой защите выполняет функцию разрешающего элемента. Если мощность направлена от источника к нагрузке, то на выходе ИОНМ KW появляется логическая единица, и срабатывание токовой защиты разрешается через логический элемент AND . В противном случае на выходе KW появится логический ноль, и срабатывание токовой защиты будет запрещено (продумайте, как работает схема на рис. 4.1).

Так как ИОНМ реагирует на фазовый сдвиг между напряжением и током, то эта реакция зависит от направления активной и реактивной мощностей в контролируемой линии электропередачи (рис. 4.2).

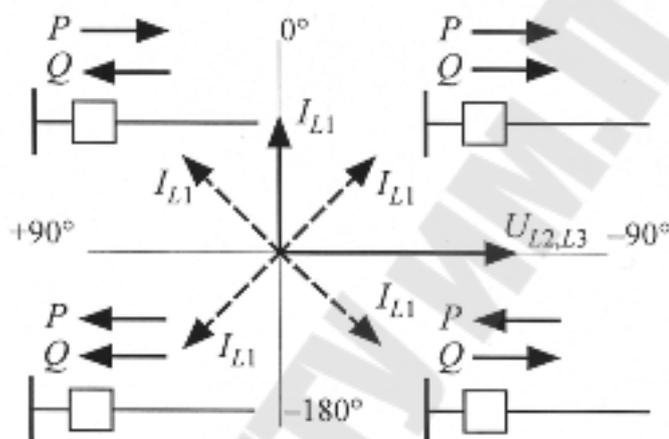


Рис. 4.2. Диаграмма направлений мощности в зависимости от фазы тока для девяностоградусной схемы включения

Активная мощность положительна (направлена от источника к нагрузке), когда фаза контролируемого тока находится в пределах от -90° до $+90^\circ$ (продумайте, почему).

Угловую диаграмму ИОНМ строят не для абсолютных значений фаз тока, как на рис. 4.2, а для разности фаз между напряжением и током $\varphi = \varphi_U - \varphi_I$. Поэтому направление отсчета углов удобнее изменить на противоположное, т. е. по часовой стрелке (рис. 4.3).

Угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$ является уставкой ИОНМ. Этот угол делит зону срабатывания пополам. Для девяностоградусной схемы включения значение $\varphi_{м.ч}$ составляет от -30° до -60° , что необходимо для учета фазовых сдвигов напряжений при коротких замыканиях и для согласования действия соседних защит.

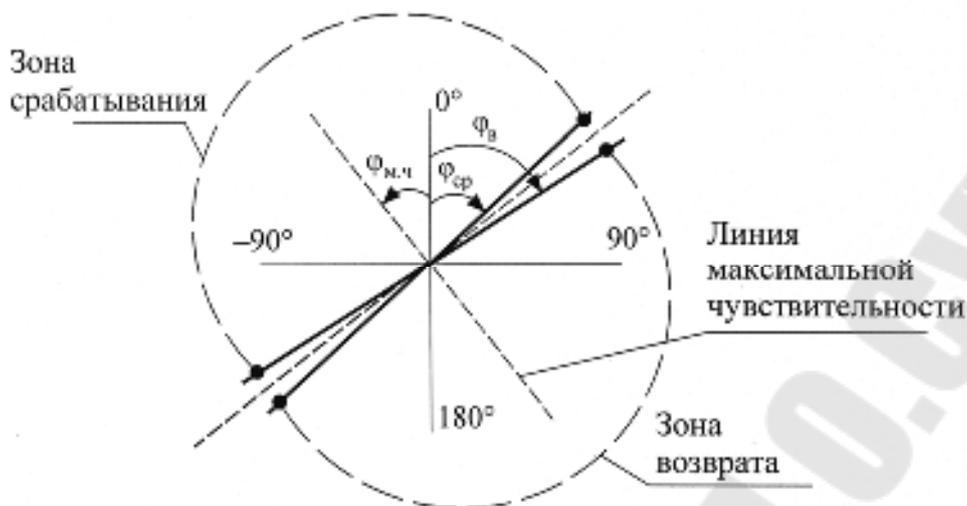


Рис. 4.3. Угловая диаграмма измерительного органа направления мощности

Из (4.1) следует, что внутренний фазовый сдвиг ИОНМ для девяностоградусной схемы равен:

$$\alpha = -90^\circ - \varphi_{\text{м.ч}}. \quad (4.2)$$

Для предотвращения дребезга на границе переключения ИОНМ имеет разные значения углов срабатывания $\varphi_{\text{ср}}$ и возврата $\varphi_{\text{в}}$ (см. рис. 4.3). Соответственно, коэффициент возврата будет равен:

$$K_{\text{в}} = \frac{\varphi_{\text{ср}}}{\varphi_{\text{в}}}. \quad (4.3)$$

Программное обеспечение микропроцессорных реле, реализующее функции ИОНМ, осуществляет сравнение знаков полуволн измеряемых напряжения и тока (рис. 4.4). При этом положительный знак соответствует логической единице, а отрицательный знак – логическому нулю (второй график на рис. 4.4). Если знаки контролируемых сигналов совпадают, то вырабатывается логический ноль, в противном случае – логическая единица, и длительность ее наблюдения $t_{\text{н.с}}$ пропорциональна фазовому сдвигу φ (третий график на рис. 4.4).

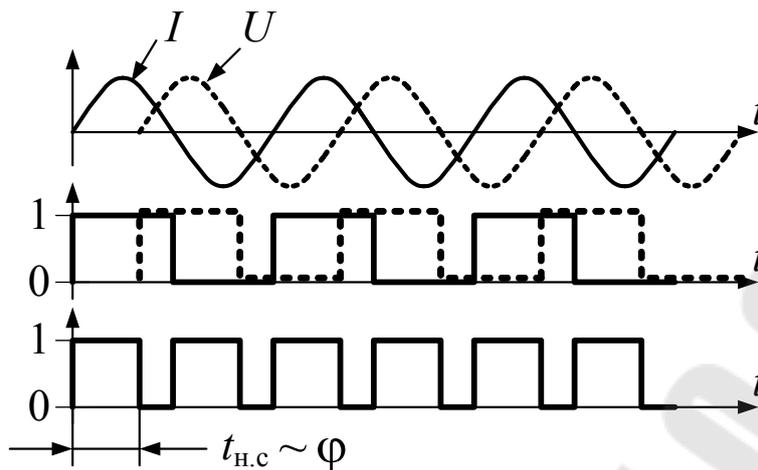


Рис. 4.4. Графики, отображающие работу программной части измерительного органа направления мощности

После определения значения угла φ программное обеспечение ИОНМ выполняет расчет знака мощности по формулам (4.1) и (4.2), а также реализует зону переключения в соответствии с требуемым коэффициентом возврата по формуле (4.3).

Описание лабораторной установки

Лицевая панель лабораторного стенда показана на рис. 4.5.

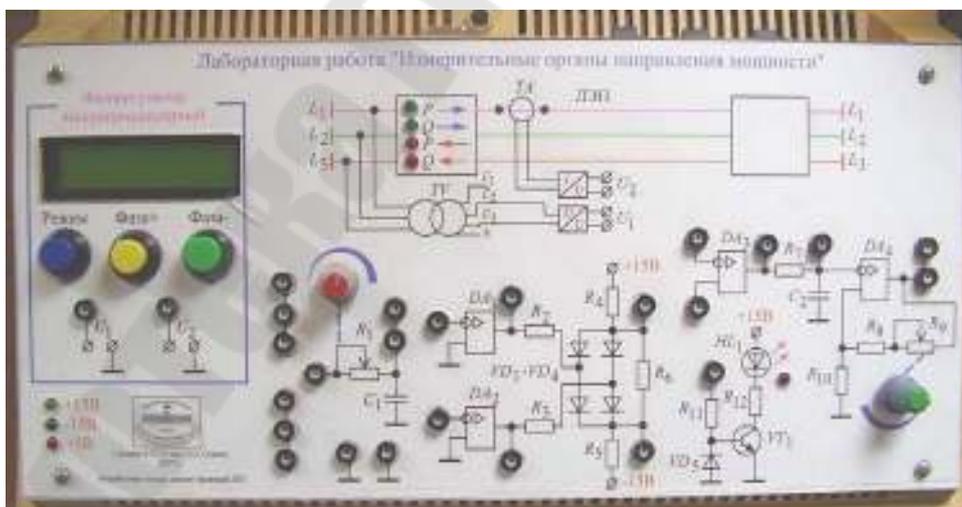


Рис. 4.5. Внешний вид лабораторного стенда

В левой части стенда расположен электронный фазорегулятор, генерирующий два напряжения синусоидальной формы U_1 и U_2 с амплитудой около 3,5 В. Значение фазы каждого из этих напряжений можно

изменять на всем угловом диапазоне с шагом $\pm 2^\circ$ с помощью кнопок «Фаза+» и «Фаза-» и наблюдать эти значения на дисплее. При нажатии на кнопку «Режим» на дисплее возможно отображение двух надписей. Первая надпись «Фаза напряжения» соответствует изменению фазы напряжения U_1 , условно пропорционального напряжению в линии электропередачи (ЛЭП). Вторая надпись «Фаза тока» соответствует изменению фазы напряжения U_2 , условно пропорционального току в ЛЭП.

В верхней части стенда изображен фрагмент схемы электропитания в виде трехфазной трехпроводной высоковольтной ЛЭП, с противоположных концов которой располагаются высоковольтные выключатели. Фазы напряжений обозначены L_1 , L_2 , L_3 .

Внутри первого выключателя расположены 4 светодиода, указывающие направления активной P и реактивной Q мощности. Положительным считается направление от шин подстанции в ЛЭП.

Напряжение U_1 , генерируемое фазорегулятором, пропорционально линейному напряжению между фазами L_2 и L_3 , и условно формируется через измерительный трансформатор напряжения TV и измерительный преобразователь «напряжение – напряжение».

Напряжение U_2 , генерируемое фазорегулятором, пропорционально линейному току фазы L_1 , и условно формируется через измерительный трансформатор тока TA и измерительный преобразователь «ток–напряжение».

Таким образом, в лабораторном стенде имитируется девятиугольная схема подключения ИОНМ (см. теоретическую часть).

В нижней части стенда расположены гнезда и обозначения электронных элементов для сборки схемы, имитирующей работу ИОНМ. Эта схема приведена на рис. 4.6.

Схема работает следующим образом.

Напряжение U_1 подается на фазосдвигающую цепь R_1 , C_1 , реализующую внутренний фазовый сдвиг ИОНМ α . Значение R_1 можно изменять вручную с помощью регулятора, выведенного на лицевую панель стенда.

С выхода фазосдвигающей цепи напряжение поступает на первый вход компаратора, реализованного на операционном усилителе DA_1 . Второй вход компаратора подключен к общему проводу. Таким образом, переключение компаратора происходит при переходе входного напряжения через 0 В, и компаратор выполняет функцию формирователя

прямоугольных импульсов (см. второй график на рис. 4.4). Компаратор на операционном усилителе DA_2 выполняет ту же функцию для напряжения U_2 .

С выходов DA_1 и DA_2 прямоугольные импульсы подаются на схему сравнения, собранную на диодах VD_1 – VD_4 , резисторах R_2 – R_6 и компараторе на основе операционного усилителя DA_3 . Схема сравнения работает следующим образом.

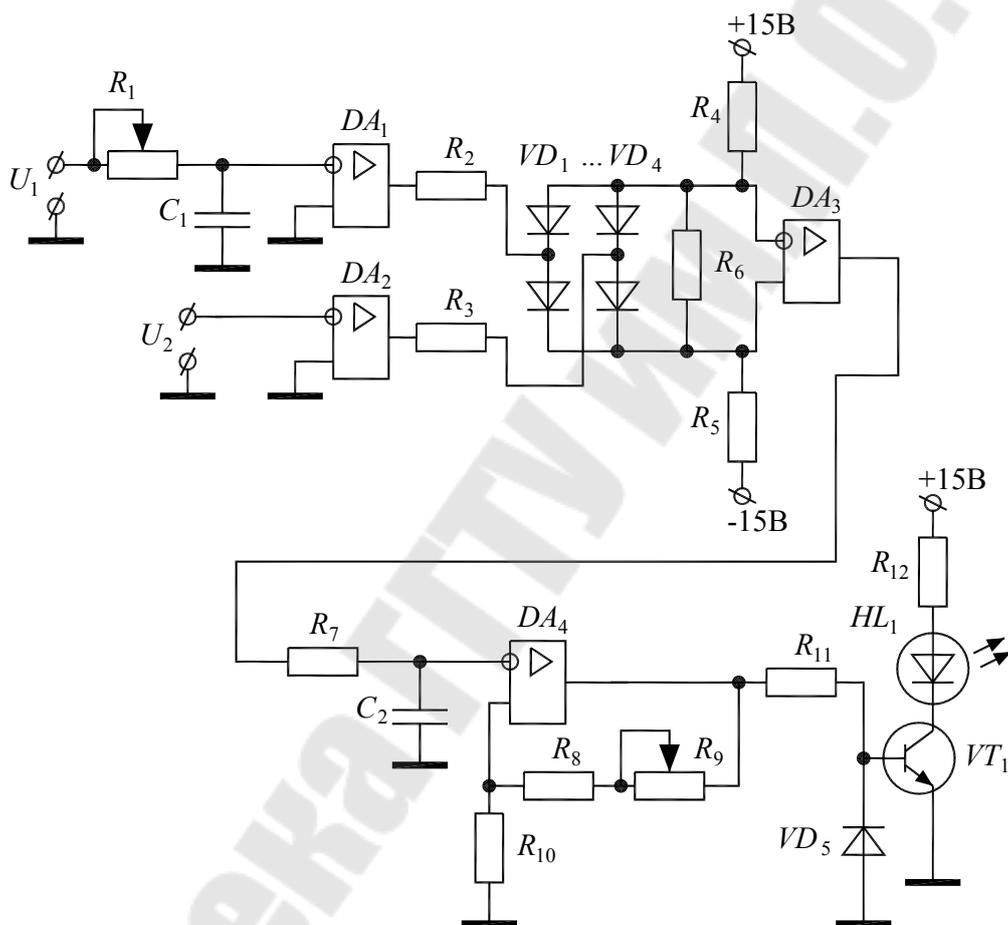


Рис. 4.6. Схема, имитирующая работу измерительного органа направления мощности

Если знаки напряжений с выходов DA_1 и DA_2 совпадают, то все диоды VD_1 – VD_4 открыты, и через них протекает ток по цепи: питание $+15$ В, R_4 , диоды, R_5 , питание -15 В. В результате положительный потенциал напряжения формируется на анодах диодов, и на выходе DA_3 появляется отрицательное напряжение.

Если же знаки напряжений с выходов DA_1 и DA_2 не совпадают, то диоды VD_1 – VD_4 начинают работать как диодный мост, положительный потенциал напряжения формируется на их катодах, и на выходе DA_3 появляется положительное напряжение. Сопротивления резисторов R_2 , R_3 и R_6 определяют требуемые значения тока через диодный мост.

Таким образом, на выходе DA_3 образуются прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна фазовому сдвигу между напряжением на конденсаторе C_1 и напряжением U_2 (см. третий график на рис. 4.4). Эти импульсы далее поступают на интегрирующую цепь R_7 , C_2 , выделяющую их среднее значение. При этом напряжение на конденсаторе C_2 по форме близко к постоянному напряжению.

Предпоследним элементом схемы ИОНМ является триггер Шмидта, собранный на резисторах R_8 , R_9 , R_{10} и операционном усилителе DA_4 . Триггер Шмидта определяет значение коэффициента возврата ИОНМ, формируя зону переключения (см. рис. 4.3). Ширину этой зоны можно регулировать вручную с помощью переменного резистора R_9 .

Последний элемент ИОНМ – это электронный ключ, собранный на транзисторе VT_1 , резисторах R_{11} , R_{12} и диоде VD_5 . Нагрузкой ключа является светодиод HL_1 . Схема ключа работает следующим образом. Если на выходе DA_4 появится положительное напряжение, то через резистор R_{11} начнет протекать ток базы транзистора, и транзистор откроется. Тогда пойдет ток через питание +15 В, светодиод, резистор R_{12} , коллектор транзистора, эмиттер транзистора и общий провод. При этом светодиод будет светиться. Если же на выходе DA_4 появится отрицательное напряжение, то транзистор VT_1 закроется, и светодиод HL_1 погаснет.

Свечение светодиода HL_1 соответствует срабатыванию ИОНМ, а погасание – возврату ИОНМ.

Питание на стенд подается через разъем, расположенный на задней панели.

На задней панели стенда имеются 3 переключателя, позволяющие включать и выключать напряжения питания, равные +15 В, –15 В и +5 В. Наличие этих напряжений можно контролировать по светодиодам на лицевой панели стенда.

Внимание! Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы напряжения питания стенда необходимо обязательно отключать с помощью переключателей. Разъем питания нужно подсоединить в начале работы, убедившись, что переключатели находятся в положении «отключено», и затем отсоединить в конце работы.

Внимание! Перед включением все схемы должен проверить преподаватель.

Внимание! Во избежание обрыва соединительных перемычек извлекать их из гнезд нужно, удерживая за корпуса штырей.

Для проведения работы необходим двухканальный осциллограф.

Все измерения проводятся относительно общего провода, обозначенного символами \perp на стенде.

Измерения осуществляются путем подключения измерительных проводов осциллографа к специальным штырькам с жесткими выводами.

Порядок выполнения работы

Сборка и настройка схемы ИОНМ

1. Соберите схему ИОНМ (см. рис. 4.6).
2. Подключите первый канал осциллографа к точке подключения напряжения U_1 , а второй канал – к точке подключения напряжения U_2 .
3. Включите питание стенда. При этом на экране фазорегулятора на несколько секунд должна появиться надпись «Технический университет».
4. Включите осциллограф и убедитесь, что оба напряжения имеют синусоидальную форму и фазовый сдвиг 0° .
5. Для имитации девяностоградусной схемы установите фазу напряжения -90° . По осциллограммам убедитесь, что фазовый сдвиг произошел верно.
6. Запишите состояния светодиодов, показывающих направления мощностей. Объясните полученные результаты в отчете.
7. Для задания внутреннего фазового сдвига ИОНМ установите регулятор резистора R_1 в произвольное (но не крайнее) положение.
8. Подключите второй канал осциллографа к конденсатору C_1 . Зарисуйте полученные осциллограммы. Определите значение внутреннего фазового сдвига ИОНМ α (для отстающей величины $\alpha < 0$).

9. Для задания коэффициента возврата ИОНМ установите регулятор резистора R_9 в произвольное (но не крайнее) положение.

Исследование угловой характеристики ИОНМ

10. При неизменной фазе напряжения, равной -90° , изменяйте значение фазы тока от 0° до 358° и от 358° до 0° . При этом записывайте значения фазы тока, при которых происходили срабатывание и возврат ИОНМ. В эти моменты записывайте также направления всех мощностей.

11. Рассчитайте разности фаз между напряжением и током $\varphi = \varphi_U - \varphi_I$ на границах переключения ИОНМ.

12. В результате измерений должны получиться два значения углов срабатывания и два значения углов возврата. Приблизненно (без использования транспортира) зарисуйте в черновике четыре луча, соответствующие этим углам (см. рис. 4.3). Найдите зону срабатывания и разбейте ее биссектрисой пополам. По правилам геометрии рассчитайте значение угла этой биссектрисы относительно 0° . Это и будет угол максимальной чувствительности ИОНМ. Покажите результаты преподавателю.

Исследование коэффициента возврата ИОНМ

13. Рассчитайте коэффициент возврата ИОНМ в соответствии с формулой (4.3) по результатам п. 11.

14. Измените произвольно значение сопротивления резистора R_9 .

15. Повторите п. 10, 11, 13. Сделайте в отчете выводы по влиянию сопротивления R_9 на значение коэффициента возврата.

Изучение осциллограмм работы ИОНМ

16. Переключите первый канал осциллографа к точке измерения напряжения на выходе операционного усилителя DA_3 .

17. Вторым каналом осциллографа подключите к точке измерения напряжения на конденсаторе C_2 .

18. Изменяя значение фазы тока, зарисуйте 3 вида осциллограмм: при $\varphi = \varphi_{м.ч}$, на границе срабатывания ИОНМ и на границе возврата ИОНМ. Объясните в отчете полученные результаты, исходя из имеющихся значений угла максимальной чувствительности и коэффициента возврата.

19. Отключите питание стенда, разберите схему.

Содержание отчета

Чертеж исследуемой схемы, названия опытов, комментарии к ходу работы, результаты измерений и расчетов, угловые диаграммы, осциллограммы, объяснения полученных результатов.

Осциллограммы изобразить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

Контрольные вопросы

1. Назначение и применение ИОНМ.
2. Угловые диаграммы ИОНМ.
3. Угол максимальной чувствительности и его расчет.
4. Влияние направления мощностей в контролируемой линии на работу ИОНМ.
5. Принцип действия схемы на рис. 4.6.
6. Осциллограммы работы схемы на рис. 4.6.
7. Назначение и принцип работы схемы, изображенной в верхней части лабораторного стенда.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ И МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ РЕФЛЕКТОМЕТРА

Цель работы: получить навыки эксплуатации рефлектометра РЕЙС-105М1.

Краткие теоретические сведения

Рефлектометр – это микропроцессорный прибор, позволяющий определять расстояние до мест повреждений и неоднородностей в линиях электропередачи, а также характер этих повреждений и неоднородностей.

Принцип работы рефлектометра основан на генерации в жилу кабеля короткого зондирующего импульса напряжения и приеме импульса, отраженного от места повреждения (эффект падающей и отраженной волны в линиях с распределенными параметрами). Прибор определяет расстояние L_x до повреждения по интервалу времени t_x между зондирующим и отраженным импульсами по формуле

$$L_x = \frac{t_x V}{2} = \frac{t_x \frac{c}{\gamma}}{2} = \frac{t_x \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}}{2}, \quad (5.1)$$

где V – скорость распространения волны в линии; c – скорость света; γ – коэффициент укорочения; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость.

Коэффициент укорочения γ показывает, во сколько раз скорость распространения импульса в линии меньше скорости его распространения в воздухе.

Точность определения расстояния до места повреждения зависит от выбранного значения коэффициента укорочения.

Для некоторых типов кабелей значение коэффициента укорочения известно. При отсутствии этих данных его можно определить экспериментально, если известна длина кабеля.

Отраженный импульс появляется в тех местах линии, где волновое сопротивление отклоняется от своего среднего значения: у муфт,

у мест изменения сечения, у мест сжатия кабеля, в месте утечки, в месте обрыва, в месте короткого замыкания, в конце кабеля и других.

В местах подключения прибора также возникают отражения от выходного сопротивления генератора зондирующих импульсов, если оно не равно среднему волновому сопротивлению линии. Поэтому операция согласования выходного сопротивления генератора с волновым сопротивлением линии должна проводиться обязательно.

Затухание зондирующих импульсов в линии существенно влияет на отраженный сигнал и зависит от ее геометрической конструкции, материала проводников и изоляции. Следствием этого является снижение амплитуды и увеличение длительности отраженных импульсов, и, соответственно, снижение точности определения расстояния до места повреждения. Для устранения влияния затухания необходимо выбирать параметры (амплитуду и длительность) зондирующего импульса таким образом, чтобы амплитуда отраженного импульса была максимальна, а его длительность – минимальна.

Отсутствие отраженного сигнала свидетельствует о точном согласовании системы с линией по волновому сопротивлению и об отсутствии повреждений.

При обрыве отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий. При коротком замыкании отраженный импульс меняет свою полярность.

Наибольшую сложность в методе импульсной рефлектометрии представляет отделение полезного сигнала от помех.

По соотношению уровней отраженного сигнала и помех повреждения в линиях можно разделить на простые и сложные.

Простое повреждение – это такое повреждение кабельной линии, при котором амплитуда отражения от места повреждения больше амплитуды помех.

Сложное повреждение – это такое повреждение кабельной линии, при котором амплитуда отражения от места повреждения сравнима с амплитудой помех.

Как правило, сложные повреждения встречаются значительно чаще простых.

Внешний вид рефлектометра РЕЙС-105М1 показан на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Внешний вид рефлектометра РЕИС-105М1

В табл. 5.1 приведено описание органов управления прибором.

Таблица 5.1

Назначение кнопок прибора РЕИС-105М1

Кнопка	Назначение
УСИЛЕНИЕ ▲	Увеличить усиление сигнала
УСИЛЕНИЕ ▼	Уменьшить усиление сигнала
ДИАПАЗОН ◀	Уменьшить диапазон измерения расстояния до повреждения
ДИАПАЗОН ▶	Увеличить диапазон измерения расстояния до повреждения
↑	Смещение рефлектограммы вверх, движение по меню вверх
↓	Смещение рефлектограммы вниз, движение по меню вниз
←	Смещение активного курсора влево, движение по меню влево
⇒	Смещение активного курсора вправо, движение по меню вправо
КУРСОР	Выбор активного курсора
ОК	Вызов меню, ввод
УКОРОЧЕНИЕ ◀	Уменьшить значение коэффициента укорочения
УКОРОЧЕНИЕ ▶	Увеличить значение коэффициента укорочения
ТУРБО	Включение повышенной амплитуды зондирующего импульса

Кнопка	Назначение
ПАМЯТЬ	Вызов режима работы с памятью
ИМПУЛЬС ◀	Уменьшить длительность зондирующего импульса
ИМПУЛЬС ▶	Увеличить длительность зондирующего импульса
КОМПЕНСАЦИЯ ◀	Уменьшить длительность импульса компенсации
КОМПЕНСАЦИЯ ▶	Увеличить длительность импульса компенсации

Основные функции прибора:

- ввод коэффициента укорочения;
- отображение рефлектограмм на дисплее;
- расчет расстояния до места отражения зондирующего импульса в исследуемой линии в соответствии с положением курсоров, установленных пользователем;
- программируемое усиление сигнала;
- запись рефлектограмм в память;
- передача рефлектограмм в компьютер по интерфейсу RS232.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка предназначена для имитации трехжильного кабеля длиной не более 21 м. Жилы кабеля обозначены буквами «А», «В», «С». Оболочка кабеля обозначена буквой «О».

Для имитации повреждений в кабеле предусмотрены клеммы, обозначенные «КЛ» и переключатели, обозначенные «ВК». Клеммы также предназначены для подключения измерительных проводов прибора.

Положение переключателя «вверх» соответствует замыканию контакта «ВК» на схеме, положение «вниз» – размыканию контакта «ВК».

В правой нижней части установки приведена схема, на которой показаны жилы кабеля и его оболочка вместе с клеммами и переключателями.

В установке предусмотрена имитация следующих видов повреждений и неоднородностей:

- короткое замыкание (с помощью клемм и внешних соединительных проводов);
- обрыв (с помощью переключателей);
- имитация кабельной муфты (с помощью емкости С1 и переключателя ВК2);

- ответвление от линии (с помощью сопротивления $R1$, переключателя ВК4, клемм КЛ9–КЛ12);
- утечка по фазе «В» (с помощью сопротивления $R2$ и переключателя ВК6);
- дополнительное сопротивление в фазе «В» (с помощью сопротивления $R6$ и клемм КЛ19, КЛ20);
- линия под нагрузкой (с помощью сопротивлений $R3$ – $R5$ и переключателей ВК9–ВК11).

Для работы установки не требуется подключение к сети.

Порядок выполнения работы

Подготовка к проведению измерений

1. Соберите на лабораторной установке схему, соответствующую линии без повреждений и с разрывом на конце (все нагрузки отключены), установив в нужное положение переключатели и используя при необходимости внешние соединительные провода (см. описание лабораторной установки).

2. Убедитесь, что измерительный кабель подключен к разъему прибора «Вход 1». В противном случае обратитесь за помощью к преподавателю.

3. Подключите измерительные щупы прибора к входам жил контролируемого кабеля на лабораторной установке в фазах «А» (белый провод к КЛ1) и «С» (черный провод к КЛ3).

4. Включите прибор и дождитесь появления рефлектограммы на экране. С помощью клавиш «Диапазон» установите диапазон измерений $D = 50$ м. После этого убедитесь, что на рефлектограмме имеются зондирующий импульс, и импульс, отраженный от конца кабеля (той же полярности, что и зондирующий).

5. Зарисуйте рефлектограмму в черновик. Выделите на ней зондирующий и отраженный импульсы.

6. Войдите в основное меню прибора, а затем в подменю «Укорочение → Выбор из таблицы».

7. Выберите любой кабель из таблицы, запишите его марку и коэффициент укорочения в черновик. Нажмите «Ок» для выбора кабеля в приборе.

8. Выйдите из основного меню и убедитесь, что требуемый коэффициент укорочения отображается на экране.

9. Проведите согласование выходного сопротивления прибора с волновым сопротивлением линии. Для этого вращайте регулятор «ВЫХОД СОПР», находящийся на верхней боковой панели прибора, добиваясь минимальных колебаний сигнала в непосредственной близости к зондирующему импульсу. При этом амплитуды зондирующего и отраженного импульсов не должны существенно снижаться. Запишите полученное приблизительное значение выходного сопротивления по шкале регулятора.

10. Войдите в основное меню прибора, а затем в подменю «Режим → Автопоиск конца линии» и нажмите «Ок».

11. Выпишите сообщение с дисплея и подтвердите ввод.

12. Дождитесь окончания процесса определения расстояния до конца линии и выпишите результаты в черновик.

13. С помощью ВК9, ВК10, ВК11 подключите к линии трехфазную нагрузку.

14. Зарисуйте полученную рефлектограмму в черновик. Объясните результаты.

15. Отключите нагрузку от линии.

Измерение расстояния до обрыва кабельной линии

16. Разомкнув любой из переключателей ВК1, ВК3, ВК5, ВК7 или ВК8, создайте обрыв линии в фазе «А».

17. Убедитесь, что на рефлектограмме появился соответствующий отраженный импульс. Зарисуйте рефлектограмму в черновик, отметив на ней характерные зоны (зондирующий импульс, первый отраженный импульс, второй отраженный импульс и т. д.).

18. С помощью кнопки «КУРСОР» сделайте активным курсор № 0 (появится значок вверху вертикальной пунктирной линии) и переместите его с помощью кнопок «←» или «⇒» на начало зондирующего импульса.

19. Сделайте активным курсор № 1 и переместите его на начало отраженного импульса, соответствующего повреждению.

20. Запишите расстояние до места повреждения, рассчитанное прибором.

21. Восстановите целостность линии в фазе «А» и повторите п. 16–20 для другого участка обрыва этой линии.

22. Восстановите целостность линии в фазе «А».

*Измерение расстояния до короткого замыкания
в кабельной линии*

23. Подключите измерительные щупы прибора к входам жил контролируемого кабеля на лабораторной установке в фазах «А» (белый провод к КЛ1) и «В» (черный провод к КЛ2).

24. С помощью внешнего провода в любом месте линии создайте короткое замыкание между фазами «А» и «В».

25. Повторите п. 17–20. Объясните полученные результаты.

26. Уберите короткое замыкание.

Измерение расстояния до кабельной муфты

27. Подключите измерительные щупы прибора к входам жил контролируемого кабеля на лабораторной установке в фазах «В» (белый провод к КЛ2) и «С» (черный провод к КЛ3).

28. Включите переключатель ВК2 для имитации кабельной муфты.

29. При наличии слабого отраженного сигнала на экране прибора добавьте усиления (см. табл. 5.1).

30. Повторите п. 17–20. Объясните полученные результаты.

31. Отключите ВК2.

*Измерение расстояния до места утечки
в кабельной линии*

32. Включите переключатель ВК6 для имитации тока утечки.

33. Повторите пункты 17-20. Объясните полученные результаты.

34. Отключите ВК6.

Передача рефлектограмм в компьютер

35. Отключите прибор и подсоедините к нему интерфейсный кабель компьютера.

36. Включите компьютер.

37. Включите прибор, войдите в меню и выберите режим «Компьютер». Не выходите из этого режима.

38. В компьютере загрузите программу «Рейд-7».

39. В программе «Рейд-7» выберите пункт меню «Файл → Информация о приборе».

40. Спишите в черновик принятую с прибора информацию. В случае отсутствия связи обратитесь к преподавателю.

41. Создайте на стенде какое-нибудь комбинированное повреждение или сложную неоднородность. Опишите это в черновике и отчете.

42. Выберите в программе «Рейд-7» пункт меню «Файл → Запуск измерений...». В настройках установите диапазон измерений 50 м и требуемое значение коэффициента укорочения.

43. Запустите однократное измерение. На экране должна появиться рефлектограмма. Зарисуйте и проанализируйте ее.

44. Выберите пункт меню «Рефлектограмма → Центрировать измерительный курсор (1)». С помощью мыши устанавливайте курсор на начало отраженных импульсов и записывайте результаты расчетов расстояний в черновик и отчет.

45. Сохраните рефлектограмму на компьютер в виде файла.

46. Выключите прибор и компьютер.

Содержание отчета

Названия опытов, комментарии к ходу работы, чертежи рефлектограмм с подробной расшифровкой, выводы по каждому опыту.

Контрольные вопросы

1. Как работает метод импульсной рефлектометрии?
2. Что такое рефлектометр и как он работает?
3. Какие виды помех влияют на работу рефлектометра?
4. Что такое коэффициент укорочения и как он влияет на показания рефлектометра?
5. Как по рефлектограмме определить расстояние до противоположного конца линии?
6. Как по рефлектограмме определить расстояние до обрыва линии?
7. Как по рефлектограмме определить расстояние до короткого замыкания в линии?
8. Как по рефлектограмме определить расстояние до кабельной муфты?
9. Каковы возможности программы «Рейд-7»?

Лабораторная работа № 6

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ АСКУЭ

Цель работы: получить навыки эксплуатации и программирования системы АСКУЭ ВЗЭП-2002 (Витебский завод электроизмерительных приборов).

Краткие теоретические сведения

Автоматические системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) – это набор аппаратных и программных средств, обеспечивающих измерение и накопление во времени электрических величин, а также передачу этих величин на расстояние. Основными измеряемыми величинами являются активная, реактивная и полная электроэнергия.

Современные системы АСКУЭ представляют собой сети из микропроцессорных приборов и линий связи. Обмен данными обеспечивается посредством интерфейсов связи.

Сети АСКУЭ условно можно представить в виде пирамиды (рис. 6.1), на нижних уровнях которой располагаются счетчики электроэнергии и другие микропроцессорные измерительные приборы. На средних уровнях размещаются **концентраторы** – устройства, обеспечивающие сбор данных и их передачу на верхние уровни. Концентраторы работают и в обратную сторону, передавая управляющие команды и настройки в приборы нижнего уровня. На верхних уровнях АСКУЭ находятся компьютеры и серверы, осуществляющие окончательный сбор информации, ее сохранение, а также необходимые математические расчеты.



Рис. 6.1. Структурная схема АСКУЭ

Приборы нижнего уровня АСКУЭ, как правило, соединяют в локальную сеть по магистральному принципу посредством интерфейсов связи *RS485* или *Ethernet*. В качестве линий связи используют витую пару или волоконно-оптические кабели.

Концентраторы обеспечивают радиальную часть сети. Для их обмена данными с верхним уровнем АСКУЭ используются скоростные проводные интерфейсы типа *Ethernet* или беспроводная сотовая связь.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на лабораторной установке «Микропроцессорные системы АСКУЭ» (см. рис. 2.3).

В лабораторной работе используется следующее оборудование:

- 1) мультиметр энергетический МЭ-01;
- 2) микропроцессорный трехфазный счетчик активной энергии ЭЭ8005;
- 3) переходник сети АСКУЭ 6ПМ.387.058;
- 4) микропроцессорный концентратор АСКУЭ ЕА8086;
- 5) персональный компьютер.

Приборы ЭЭ8005, ЕА8086 и переходник расположены на лицевой панели лабораторного стенда. Кроме этого в стенде имеются регуляторы токов фаз.

Рядом с концентратором ЕА8086 закреплена антенна для обмена данными через сотовую связь стандарта *GSM*. Внутри корпуса концентратора может быть установлена *SIM*-карта с записанным в ней номером абонента. Однако в лабораторной установке антенна дана только для наглядности. Связь концентратора с компьютером осуществляется по интерфейсу *RS232* через трехпроводный кабель.

Все устройства в лабораторной установке подключены стационарно. Схема подключения приведена на рис. 6.2.

К фазным напряжениям электрической сети подключены лабораторные автотрансформаторы T_1 , T_2 , T_3 . Их выходы соединены с соответствующими понижающими трансформаторами напряжения T_4 , T_5 , T_6 , рассчитанными на работу в режиме короткого замыкания. На вторичных обмотках этих трансформаторов формируются токи значениями до 10 А, а из сети потребляются токи не более 0,1 А.

Мультиметр МЭ-01 и счетчик ЕЭ8005 подключены к цепям напряжения непосредственно. Цепи токов соответствующих фаз этих

приборов соединены последовательно и подключены к вторичным обмоткам трансформаторов T_4, T_5, T_6 .

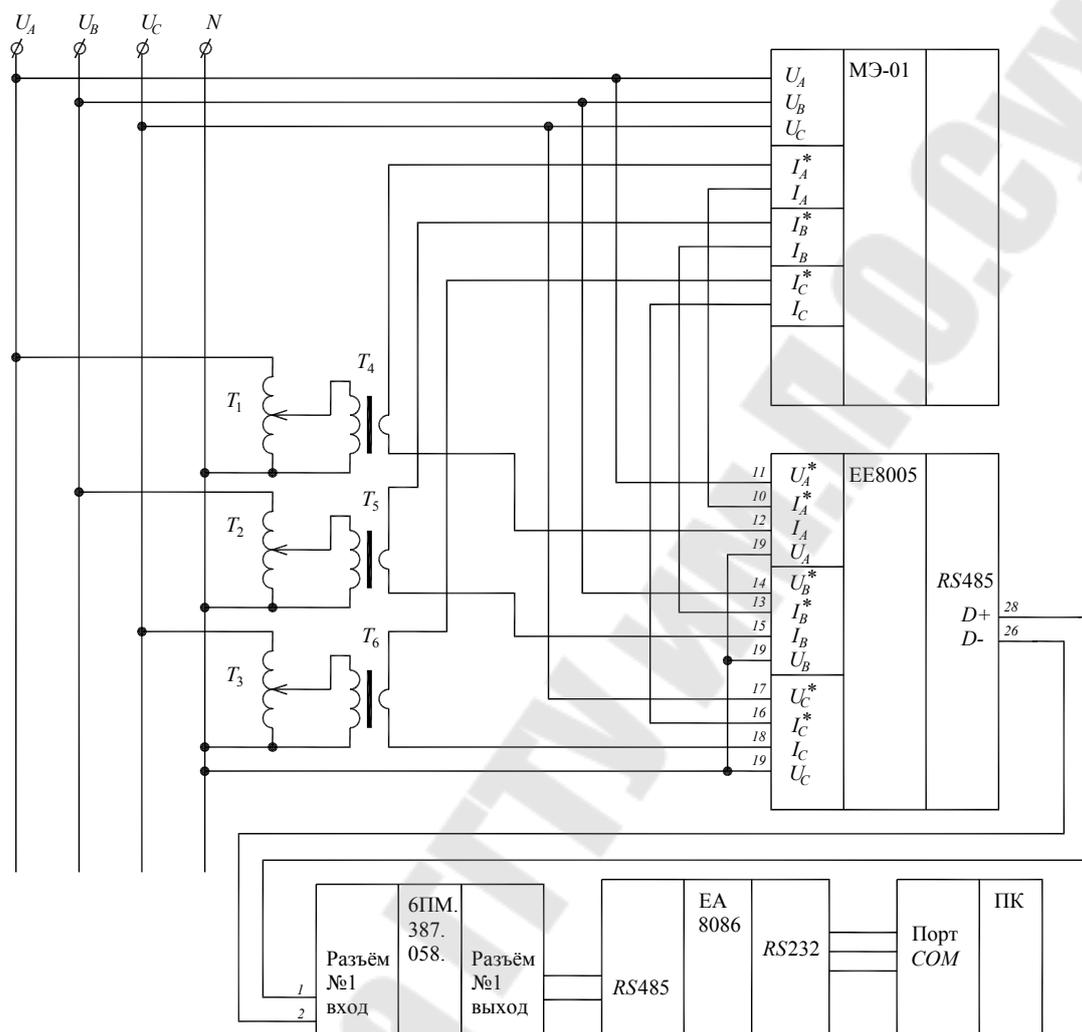


Рис. 6.2. Схема подключения приборов в лабораторной установке

Выходы интерфейса связи $RS485$ счетчика присоединены к разъему № 1 переходника 6ПМ.387.058. Этот переходник обеспечивает монтаж магистрально-радиальных участков сети АСКУЭ. Он имеет 4 разъема, каждый из которых позволяет подключить по магистральному принципу 3 счетчика. Выходы разъемов переходника подключаются к соответствующим входам интерфейса $RS485$ в концентраторе EA8086. Всего в концентраторе имеется 12 интерфейсных разъемов. Таким образом, с помощью переходников 6ПМ.387.058 к концентратору можно подключить $3 \cdot 12 = 36$ счетчиков.

Выход интерфейса связи $RS232$ концентратора соединен с COM -портом компьютера.

Управление сетью АСКУЭ осуществляется с помощью программы *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42*, установленной на компьютере.

Программа *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42* позволяет:

- вводить адреса пользователей;
- задавать параметры счетчиков для каждого пользователя;
- формировать варианты тарификации для счетчиков;
- программировать концентраторы на запись и на чтение;
- считывать данные со счетчиков через концентраторы.

Программирование концентратора на запись – это процесс передачи в концентратор настроек и адресов счетчиков. При запуске этого процесса концентратор осуществляет **параметризацию счетчиков**, т. е. изменение их настроек по тарификации и по отображаемой информации на дисплее.

Программирование концентратора на чтение – это процесс передачи в концентратор адресов счетчиков и параметров, которые необходимо с них считывать.

Вариант тарификации – это набор настроек, в которые входят количество тарифных сезонов и тарифных зон, а также и временные интервалы для тарифных сезонов и тарифных зон.

Тарифная зона – это интервал времени, в течение которого действует один из тарифов. В системе *ASKUE VZEP 2002* можно работать с четырьмя тарифами: Т1, Т2, Т3, Т4. Тарифные зоны можно отдельно задавать для рабочих дней, суббот и воскресений. Первая тарифная зона должна начинаться с 0 ч 00 мин. Время начала следующей тарифной зоны должно быть больше, чем для предыдущей.

Внимание! Запрещается выполнять произвольные действия в программе *ASKUE VZEP 2002*!

Меры по технике безопасности

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.
2. Перед началом работы убедиться, что автоматический выключатель стенда находится в положении «отключено», а все регуляторы тока в положении «минимум».

Порядок выполнения работы

Предварительные настройки

1. Снимите защитную крышку с концентратора EA8086.
2. Убедитесь, что интерфейсный кабель подключен к разъему № 1.
3. Установите защитную крышку.
4. Включите стенд и убедитесь, что на дисплеях всех приборов (кроме ВАФ М4185) появилась информация.
5. Убедитесь, что на дисплее счетчика ЭЭ8005 происходит циклическая смена экранов.
6. Войдите в режим общих настроек счетчика ЭЭ8005, длительно (более 4 с), нажав кнопку «Выбор». В результате должна отобразиться информация о заводских характеристиках счетчика.
7. Кратковременно нажав кнопку «Выбор», спишите заводской номер счетчика. Этот номер является сетевым адресом счетчика в АСКУЭ.
8. Выйдите из режима общих настроек счетчика, длительно нажав кнопку «Выбор».
9. Включите компьютер и загрузите программу *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42*, введя пароль администратора «555».
10. **Внимание!** Запрещается выполнять произвольные действия в программе *ASKUE VZEP 2002!*
11. Удалите все имеющиеся адреса абонентов в программе.
12. Добавьте новый адрес с произвольными данными и одним разъемом. Номер концентратора введите равным 1.
13. Нажмите кнопку «Добавить несколько счетчиков» и добавьте один счетчик.
14. Введите параметры счетчика. Номер квартиры, номер лицевого счета, фамилию и код счетчика введите произвольно. Наименование счетчика «Трехфазный суммирующий», тип счетчика ЭЭ8005. **Номер счетчика введите равным его заводскому номеру.** Номер варианта тарификации выберите в соответствии с вариантом задания (табл. 6.1).
15. Выйдите в главное меню программы.
16. Сделайте двойной щелчок мыши на адресе. Внизу экрана должно появиться окно с задействованными разъемами.
17. Нажмите кнопку «Выделить все счетчики в адресе».

Таблица 6.1

Исходные данные для вариантов тарификации

Номер варианта задания	Номер варианта тарификации	Количество тарифных сезонов	Количество тарифов	Количество фиксированных дат	1-й сезон			2-й сезон				
					дата начала	тарифных зон в рабочие дни	тарифных зон в субботу	тарифных зон в воскресенье	дата начала	тарифных зон в рабочие дни	тарифных зон в субботу	тарифных зон в воскресенье
1	1	2	4	0	01-01	4	1	1	01-06	2	3	2
2	2	2	3	0	01-01	6	2	2	01-05	3	2	1
3	3	2	2	0	01-01	5	1	1	01-07	4	1	2
4	1	2	3	0	01-01	7	1	1	01-08	5	2	1
5	2	2	4	0	01-01	3	2	2	01-04	8	2	2
6	3	2	2	0	01-01	5	1	1	01-03	4	3	1

Создание варианта тарификации

1. Выберите пункт меню «Адрес → Редактировать вариант тарификации». Выберите номер варианта тарификации в соответствии с вариантом задания (табл. 6.1).

2. Установите все параметры варианта тарификации в соответствии с табл. 6.1. Для настроек по тарифным сезонам необходимо нажать кнопку с обозначением соответствующего сезона в разделе «Тарифные переходы». Номера тарифов (Т1, Т2, Т3, Т4) и время начала действия тарифных зон задайте произвольно для каждой тарифной зоны. При этом первая тарифная зона всегда должна начинаться с 0 ч 00 мин. Время следующей тарифной зоны не должно быть раньше времени предыдущей зоны.

3. В разделе «Дисплей» выделите необходимые экраны для вывода на дисплей счетчика в соответствии с заданием преподавателя. Время вывода на дисплей: от 3 до 6 с.

4. Запишите всю конфигурацию варианта тарификации в черновик и отчет.

5. Сохраните все настройки и выйдите в главное меню программы.

Программирование концентратора на запись

1. Нажмите кнопку «Концентратор».

2. Уберите значок «Связь через модем».

3. Нажмите кнопку «Программирование концентратора на запись». Убедитесь, что значок «Вариант тарификации» установлен.

4. Нажмите кнопку «Программирование» и подтвердите выбранный адрес.

5. **Внимание!** Все пароли вводит только преподаватель!

6. После ввода паролей преподавателем запустите процесс программирования.

7. Дождитесь окончания программирования, выждав не менее 2 мин. **Внимание!** Кнопку «Повтор» нажимать строго запрещено!

8. Запишите в отчет все сообщения программы в левой части экрана.

9. Выйдите в главное меню программы.

10. Убедитесь, что на дисплее счетчика циклически отображается вся необходимая информация.

11. Нажимая кнопку «Выбор» на концентраторе EA8086, спишите в отчет все показания с его дисплея. Объясните назначение этих показаний.

12. Убедитесь, что на дисплее счетчика циклически отображаются необходимые экраны с нужной длительностью.

13. Спишите с дисплея счетчика учитываемый в текущий момент тарифный сезон и номер тарифа.

14. По текущим дате и времени убедитесь, что действуют нужный тарифный сезон и номер тарифа в соответствии с тем, что было задано в варианте тарификации. Объясните в черновике и отчете полученные результаты.

Программирование концентратора на чтение

1. Нажмите кнопку «Концентратор».
2. Уберите значок «Связь через модем».
3. Нажмите кнопку «Программирование концентратора на чтение».
4. Выделите нужные для считывания тарифы и все остальные параметры, кроме параметра «Автоматическое чтение в 4:00».
5. Нажмите кнопку «Программирование» и подтвердите выбранный адрес.
6. Запустите процесс программирования.
7. Дождитесь окончания программирования, выждав не менее 2 мин.
8. Запишите в отчет все сообщения программы в левой части экрана.
9. Выйдите в главное меню программы.

Чтение данных со счетчика

1. Установите произвольные значения токов фаз (не менее 2 А), используя регуляторы тока и мультиметр МЭ-01.

2. Запишите все показания мультиметра, перемещаясь по его меню с помощью кнопок и пользуясь Приложением 1. Объясните в отчете полученные результаты.

3. Спишите с дисплея счетчика значение средней активной мощности нагрузки, рассчитываемой за последнюю минуту измерений. Сравните эти показания с показаниями мультиметра. Сделайте выводы в отчете.

4. Выждите некоторое время и убедитесь, что показания потребленной энергии по учитываемому тарифу в счетчике изменяются.

5. Нажмите в программе кнопку «Концентратор».

6. Уберите значок «Связь через модем».

7. Нажмите кнопку «Чтение данных со счетчиков» и подтвердите выбранные адреса.

8. Дождитесь окончания чтения, выждав не менее 2 мин. **Внимание!** Кнопку «Повтор» нажимать строго запрещено!
9. Запишите в отчет все сообщения программы в левой части экрана.
10. Выйдите в главное меню программы.
11. Выделите адрес и нажмите кнопку «Данные со счетчиков».
12. Последовательно нажимая на все кнопки в правой части экрана, внимательно рассмотрите каждую таблицу и график, считанные со счетчика. Сделайте подробные выводы по всем таблицам и графикам (качество синхронизации во времени, максимальные и минимальные потребления за последний месяц и за последний год, действия пользователей в системе и т. д.).
13. Установите все регуляторы тока на стенде в положение «Минимум» и отключите стенд.

Содержание отчета

Цель работы, схема лабораторного стенда (см. рис. 6.2), комментарии к ходу работы, параметры созданного варианта тарификации, результаты измерений и все необходимые выводы по ним.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные принципы построения систем АСКУЭ?
2. Объясните принцип работы схемы на рис. 6.1.
3. Объясните принцип работы схемы на рис. 6.2.
4. Какие функции выполняет программа *ASKUE VZEP*?
5. Каковы функциональные возможности счетчика ЭЭ8005?
6. Что такое вариант тарификации?
7. Каковы функциональные возможности концентратора EA8006?
8. Как осуществляется программирование концентратора EA8006?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПО ПОКАЗАНИЯМ ТЕПЛОВИЗОРА

Цель работы: изучить принципы функционирования тепловизора, а также основные приемы по обработке термограмм электрооборудования.

Краткие теоретические сведения

Тепловизор – это измерительный прибор, позволяющий анализировать тепловые поля бесконтактным способом и работающий по принципу цифрового фотоаппарата (рис. 7.1). В результате работы прибора формируется изображение теплового поля исследуемой поверхности, которое называется **термограммой**.



Рис. 7.1. Тепловизор NEC TH7700

Работа тепловизора основана на том, что все нагретые объекты излучают инфракрасные волны. При этом интенсивность и частота излучения зависят от температуры поверхности объекта.

Интегральной излучательной способностью (энергетической светимостью объекта) называют величину W , характеризующую интенсивность излучения и определяемую в соответствии с законом Стефана–Больцмана:

$$W = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot \theta^4, \quad (7.1)$$

где θ – температура поверхности объекта в Кельвинах; ε – коэффициент излучения.

Коэффициент излучения ε является безразмерным параметром и учитывает отражающую способность материалов. Для абсолютно черного тела, которое не отражает электромагнитных волн, а только их поглощает, $\varepsilon = 1$. Для реальных материалов значение ε всегда меньше единицы и является справочным. Так, для кирпича $\varepsilon \approx 0,9$, а для алюминия $\varepsilon \approx 0,05$ (Приложение 3).

Чем выше температура, тем меньше длина волны излучения в соответствии с законом смещения Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{\theta}, \quad (7.2)$$

где λ_{\max} – длина волны излучения, соответствующая максимальному значению излучательной способности объекта.

Структурная схема тепловизора приведена на рис. 7.2.

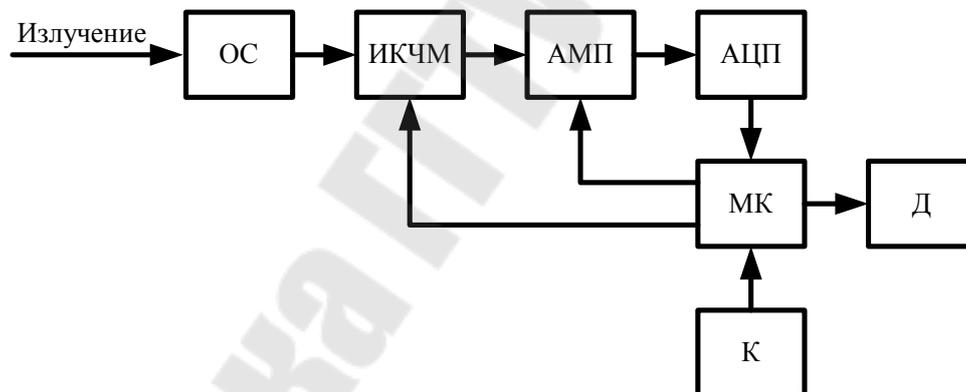


Рис. 7.2. Структурная схема тепловизора:

ОС – оптическая система; ИКЧМ – инфракрасно-чувствительная матрица; АМП – аналоговый мультиплексор;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
МК – микроконтроллер; Д – дисплей; К – клавиатура

Пользователь осуществляет настройку тепловизора и запуск его в работу с помощью клавиатуры К.

Тепловое излучение через оптическую систему ОС попадает на инфракрасно-чувствительную матрицу ИКЧМ, состоящую из множества фоточувствительных ячеек – **пикселей**. Каждый пиксель вырабатывает напряжение, пропорциональное пришедшему на него излучению.

Работой тепловизора управляет микроконтроллер МК, представляющий собой микропроцессорную систему в рамках одной микросхемы.

С помощью аналогового мультиплексора АМП, выполняющего функции многопозиционного переключателя, микроконтроллер осуществляет сканирование матрицы. Это процесс происходит следующим образом. Вначале микроконтроллер передает в матрицу двоичный код, активизирующий ее первую строку, а затем вырабатывает управляющие двоичные коды для мультиплексора таким образом, что к его выходу последовательно подключаются все пиксели первой строки. В это же время АЦП преобразует аналоговые напряжения пикселей в соответствующие двоичные коды, поступающие в микроконтроллер. После опроса всей строки микроконтроллер активизирует вторую строку и далее процесс повторяется циклически. В результате в памяти микроконтроллера формируется массив двоичных кодов, пропорциональных интенсивности излучения, попадающего на соответствующие пиксели.

После сканирования матрицы микроконтроллер выполняет математические расчеты температуры, воспринятой каждым пикселем, в соответствии с формулами (7.1) и (7.2). Результаты расчетов он выводит в виде термограммы на цветной дисплей. При этом температуры для каждого пикселя отображаются с помощью **цветовой палитры**.

В классической цветовой палитре наиболее холодным участкам соответствуют черный и синий цвета, а наиболее нагретым – белый и красный цвета. В середине спектра –зеленый цвет. Существуют также черно-белые и другие виды палитр.

Полученные термограммы тепловизор хранит в виде графических файлов со стандартными расширениями. Эти файлы могут быть считаны и переданы в компьютер. Их можно открывать и обрабатывать в специальных программах, что позволяет анализировать техническое состояние обследуемых объектов.

Точность измерений с помощью тепловизора зависит от правильности задания коэффициента излучения ϵ . По умолчанию значение этого коэффициента в тепловизоре *NEC TH7700* составляет 0,95. Тепловизор автоматически не способен определять материал исследуемой поверхности, поэтому верные значения ϵ должен вводить оператор.

Краткое руководство по программе *NEC Image Processor*

Программный пакет *NEC Image Processor* предназначен для обработки файлов термограмм с расширением «.sit».

Рабочая область *NEC Image Processor* (рис. 7.3) состоит из следующих элементов: основное окно 1, панель навигации 2, окно статистики 3, окно анализа изображений 4, шкала температур 5, окно диаграмм 6.

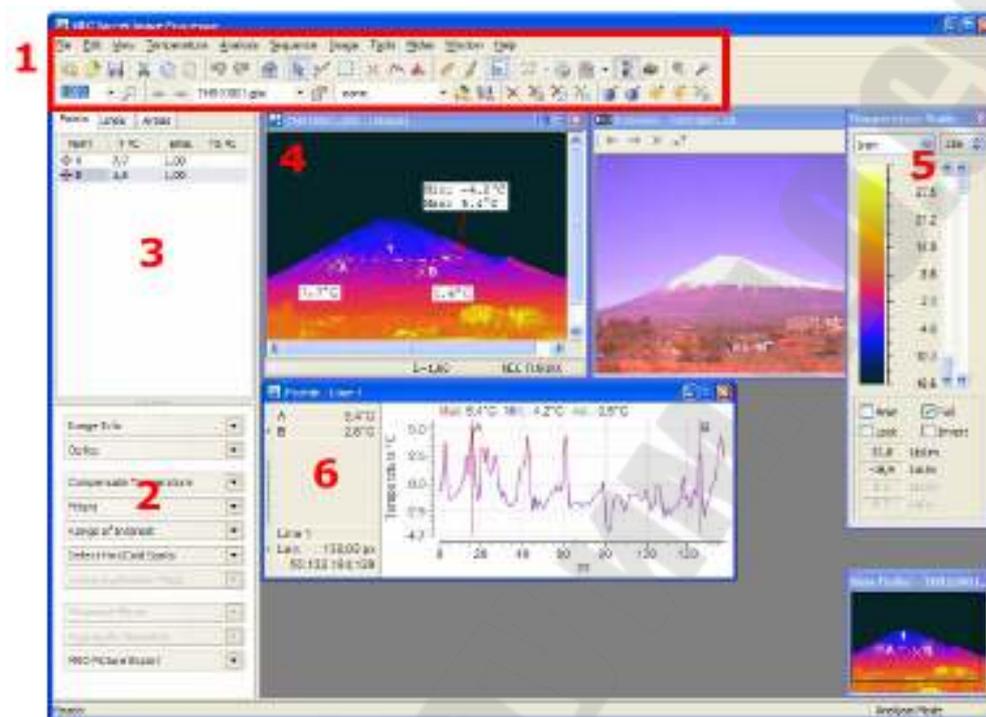


Рис. 7.3. Рабочая область *NEC Image Processor*

Для проведения термографического анализа можно воспользоваться меню или панелью инструментов (как и в любом стандартном *Windows*-приложении), приведенной на рис. 7.4.



Рис. 7.4. Панель инструментов для термографического анализа

На термограмме в окне анализа изображений можно создавать следующие виды объектов: точки, контуры, гистограммы, линейки, надписи.

Точки используются для анализа температур в отдельных точках термограммы.

Контуры позволяют строить профили температур по различным участкам термограммы путем наложения прямых или ломаных линий на эти участки. Программа автоматически создает график изменения температуры вдоль проложенной линии – профиль температуры.

Гистограммы позволяют анализировать плотности вероятности распределения температур в выделенной на термограмме прямоугольной области.

Линейки предназначены для определения расстояний и размеров изображений, находящихся в фокусе термосъемки.

Надписи позволяют размещать на термограмме пояснения пользователя.

Все объекты можно перемещать по термограмме при нажатой левой кнопки мыши после предварительного нажатия на правую кнопку.

Первая кнопка слева на панели инструментов (рис. 7.4) позволяет перемещать объекты, а вторая кнопка – объединять объекты.

При двойном щелчке на окне анализа изображений появляется диалоговое окно по изменению коэффициента излучения.

Другие параметры расчета температуры можно установить в панели навигации (см. рис. 7.3) в выпадающем списке «Корректировка температуры».

Порядок выполнения работы

1. Запустите программу NEC Image Processor.
2. Используя пункт меню ФАЙЛ → ОТКРЫТЬ, из папки «Электрика» выберите файл термограммы, заданный преподавателем.
3. Используя окно предварительного просмотра, опишите в черновике и отчете то, что вы наблюдаете на фотографии. Приведите названия крупных объектов (силовой трансформатор, трансформатор тока, высоковольтный выключатель и т. д.). При необходимости обратитесь к преподавателю.
4. Изменяя (интуитивно) различные параметры шкалы на палитре температур, добейтесь оптимального изображения термограммы. Запишите в отчет все параметры, которые вы окончательно установили на палитре.
5. Используя пункты меню ВИД → ТРЕХМЕРНЫЙ ВИД, получите трехмерное изображение термограммы. Изображение можно поворачивать, используя стрелки на клавиатуре. Дайте в отчет словесное описание наблюдаемой картины и сделайте выводы о наиболее и наименее нагретых участках на термограмме.
6. Рассматривая фотографию, на глаз оцените расстояние до ближайших объектов. На панели навигации выберите пункт «Оптика» и установите это расстояние. При достаточно точной оценке расстоя-

ния в дальнейшем программа сможет рассчитывать размеры отдельных элементов исследуемых объектов.

7. Найдите на фотографии объекта и на термограмме не менее четырех элементов для исследования. Это могут быть различные аппараты или части этих аппаратов. Например: охладитель трансформатора, термосифонный фильтр трансформатора, изолятор, провод и т. д. При необходимости обратитесь к преподавателю. Запишите в отчет названия и назначение выбранных элементов.

8. Используя объекты «Точка», для каждого из выбранных элементов определите температуры их наиболее нагретых точек. При этом делайте двойной щелчок на окне анализа изображений и вводите необходимые значения коэффициента излучения, используя Приложение 3. Запишите полученные значения в черновик и отчет.

9. Используя объекты «Контур», для каждого из выбранных элементов получите линейные профили температур (в наиболее с вашей точки зрения интересных направлениях). Для этого выбирайте на появившейся панели инструментов тип линии и проводите ее с помощью мыши вдоль выбранного направления. Не забывайте корректировать коэффициент излучения. Зарисуйте в черновик и отчет графики полученных профилей и сделайте по каждому из них выводы.

10. Используя объекты «Гистограмма», для каждого из выбранных элементов по границам их контуров получите соответствующие гистограммы. Для этого выбирайте на появившейся панели инструментов тип геометрической фигуры. Зарисуйте в отчет гистограммы и по каждой из них сделайте выводы.

Содержание отчета

Цель работы, описание исследуемых объектов, комментарии к ходу работы, графики профилей температур и гистограмм с подробными выводами по ним.

Контрольные вопросы

1. Каковы физические принципы теплового излучения?
2. Что такое тепловизор? Как работает тепловизор?
3. Что такое термограмма и температурная шкала?
4. Каковы функциональные возможности программы *NEC Image Processor*?
5. В чем разница между объектами «Контур» и «Гистограмма» в программе *NEC Image Processor*?

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем : учеб. пособие для техникумов / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
2. Новиков, Ю. В. Основы микропроцессорной техники : курс лекций / Ю. В. Новиков. – М. : Интернет-ун-т Информ. Технологий, 2004. – 438 с.
3. Александров, Е. К. Микропроцессорные системы : учеб пособие для вузов / Е. К. Александров, Р. И. Грушвицкий ; под общ. ред. Д. В. Пузанкова. – СПб. : Политехника, 2002. – 935 с.
4. Атамалян, Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин : учеб. пособие для вузов / Э. Г. Атамалян. – М. : Дрофа, 2005. – 415 с.
5. Зализный, Д. И. Микропроцессорные и электронные устройства в энергетике : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – Режим доступа: elib.gstu.by.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Краткое описание энергетического мультиметра МЭ-01

Энергетический мультиметр МЭ-01 – это микропроцессорный многофункциональный измерительный прибор для измерения параметров электрической сети.

Таблица П.1.1

Параметры, измеряемые мультиметром МЭ-01

Отображение на дисплее	Величины
U I	Текущие значения напряжений и токов по трем фазам
$U\%$ $I\%$	Текущие отклонения напряжений и токов по трем фазам
Km Cf	Текущие значения коэффициента мощности по каждой фазе Текущие значения $\cos\varphi$ по каждой фазе
Q' F	Текущие значения реактивной мощности по каждой фазе по первой гармонике Частота напряжения по первой гармонике
P P'	Текущие значения активной мощности по каждой фазе То же по первой гармонике
S S'	Текущие значения полной мощности по каждой фазе То же по первой гармонике
U I	Текущие значения напряжений и токов по трем фазам по первой гармонике

Переключение между измеряемыми параметрами осуществляется с помощью кнопок «влево» и «вправо».

Мультиметр выдает на дисплей значения **фазных** измеряемых напряжений.

При выводе на дисплей в МЭ-01 приняты следующие обозначения:

10к5 = 10500.

к20 = 200.

Приложение 2

Значения удельного сопротивления грунта

Таблица П.2.1

Параметры, измеряемые мультиметром МЭ-01

Грунт	$\rho_{уд}$, Ом · м
Глина влажная	20
Глина полутвердая	60
Гнейс разложившийся	275
Гравий глинистый, неоднородный	300
Гравий однородный	800
Графитовая крошка	0,1–2
Дресва (мелкий щебень/крупный песок)	5500
Зола, пепел	40
Известняк поверхностный	3000–5000
Каменный уголь	150
Кварц	15000
Кокс	2,5
Лесс (желтозем)	250
Мел	60
Мергель обычный	150
Мергель глинистый (50–75 % глинистых частиц)	50
Песок, сильно увлажненный грунтовыми водами	10–60
Песок, умеренно увлажненный	60–130
Песок влажный	130–400
Песок слегка влажный	400–1500
Песок сухой	1500–4200
Песчаник	1000
Садовая земля	40
Солончак	20
Суглинок, сильно увлажненный грунтовыми водами	10–60
Суглинок полутвердый, лесовидный	100
Суглинок при температуре минус 5 °С	150
Сланец графитовый	55
Супесь (супесок)	150
Торф при температуре 10 °С	25
Торф при температуре 0 °С	50

Приложение 3

Значения коэффициента излучения

Таблица П.3.1

Ориентировочные значения коэффициента излучения для различных материалов

Материал	ϵ
Алюминий полированный	0,05
Алюминий окисленный	0,3
Сталь окисленная	0,8
Сталь, покрытая ржавчиной	0,7
Чугун	0,95
Асбест	0,96
Цемент	0,54
Глина	0,91
Лак черный	0,97
Лак белый	0,85
Эмаль масляная	0,95
Бумага желтая	0,72
Стекло	0,93
Лед	0,98
Фарфор	0,92
Резина мягкая	0,86
Песок	0,6
Снег	0,8
Штукатурка	0,91
Вода	0,96
Кирпич керамический красный	0,9
Кирпич силикатный белый	0,66

Содержание

<i>Лабораторная работа № 1. Измерительные органы микроэлектронных реле тока и напряжения</i>	3
<i>Лабораторная работа № 2. Микропроцессорный вольтамперфазометр</i>	10
<i>Лабораторная работа № 3. Микропроцессорные измерители сопротивлений</i>	17
<i>Лабораторная работа № 4. Измерительные органы направления мощности</i>	26
<i>Лабораторная работа № 5. Определения типов и мест повреждения кабельных линий электропередачи с помощью рефлектометра</i>	36
<i>Лабораторная работа № 6. Микропроцессорные системы АСКУЭ</i>	44
<i>Лабораторная работа № 7. Определение состояния электрооборудования по показаниям тепловизора</i>	53
Литература	59
Приложения	60

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Зализный Дмитрий Иванович

**МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ
И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
УСТРОЙСТВА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 28.05.18.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,64.

Изд. № 2.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель