

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

Д. И. Зализный

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В ЭНЕРГЕТИКЕ

ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2015

УДК 621.317(075.8)

ББК 31.2я73

3-22

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 25.03.2014 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *К. С. Курочка*

Зализный, Д. И.

3-22

Микропроцессорные и электронные устройства в энергетике : практикум по одному курсу для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 75 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 978-985-535-246-5.

Включает девять лабораторных работ, предметом изучения которых являются микроэлектронные реле, микропроцессорная техника, системы АСКУЭ, измерители сопротивлений и телевизор.

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

УДК 621.317(075.8)

ББК 31.2я73

ISBN 978-985-535-246-5

© Зализный Д. И., 2015

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2015

Лабораторная работа № 1

Исследование измерительных органов микроэлектронных реле тока и напряжения

Цель работы: изучить принципы работы унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения, триггера Шмитта со сложной положительной обратной связью и быстродействующего измерительного органа реле тока нулевой последовательности.

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.

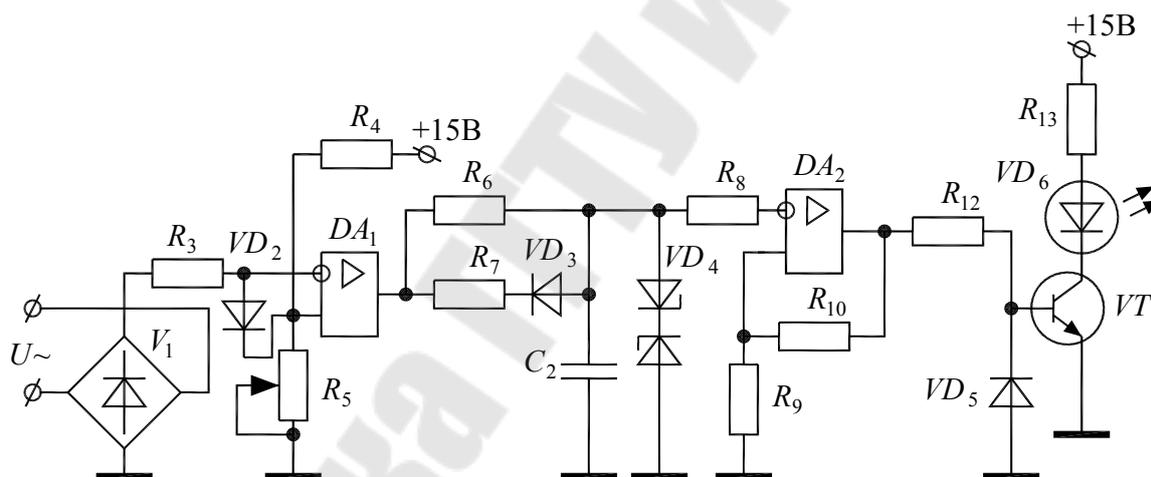


Рис. 1.1. Схема унифицированного измерительного органа

Входное напряжение U , пропорциональное току или напряжению в линии, выпрямляется с помощью двухполупериодного выпрямителя V_1 и через ограничительный резистор R_3 поступает на инвертирующий вход операционного усилителя DA_1 , включенного по схеме компаратора. На неинвертирующий вход через делитель R_4, R_5 подается опорное напряжение $U_{оп}$ положительного знака, определяющее уставку реле. Переменный резистор R_5 позволяет изменять это напряжение. Диод VD_2 служит для защиты входов DA_1 от перенапряжений.

При отсутствии аварийной ситуации в защищаемой линии, когда амплитуда входного напряжения U_m не превышает значение опорного напряжения, на выходе DA_1 наблюдается неизменное напряжение насыщения положительного знака, т. е. максимальное выходное напряжение, и конденсатор C_2 заряжен до этого напряжения. На выходе триггера Шмитта, собранного на операционном усилителе DA_2 и резисторах R_9, R_{10} , появляется постоянное напряжение насыщения отрицательного знака, которое через ограничительный резистор R_{12} запирает электронный ключ, собранный на транзисторе VT_1 , и светодиод VD_6 не светится. Это соответствует недействию защиты.

При наличии аварийной ситуации в защищаемой линии, например, короткого замыкания, амплитуда входного напряжения U превышает значение опорного напряжения, и на выходе DA_1 появляются импульсы отрицательного знака с длительностью $t_{и}$:

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

где f – частота сети.

Длительность паузы между импульсами рассчитывается по следующей формуле:

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

Получаемые импульсы подаются на интегрирующую цепь, собранную на элементах C_2, R_6, R_7 и VD_3 . При поступлении импульса отрицательного знака диод VD_3 открывается и соединяет параллельно резисторы R_6, R_7 , уменьшая постоянную времени зарядки конденсатора C_2 . При поступлении импульса положительного знака диод VD_3 закрывается, и конденсатор более медленно перезаряжается через резистор R_6 . В результате на конденсаторе формируется напряжение пилообразной формы. Среднее значение этого напряжения принимает отрицательный знак и при дальнейшем снижении приводит к переключению триггера Шмитта, на выходе которого появляется постоянное напряжение насыщения положительного знака, отпирающее электронный ключ VT_1 , и светодиод VD_6 начинает светиться. Это соответствует срабатыванию защиты. В типовом реле тока РСТ-11

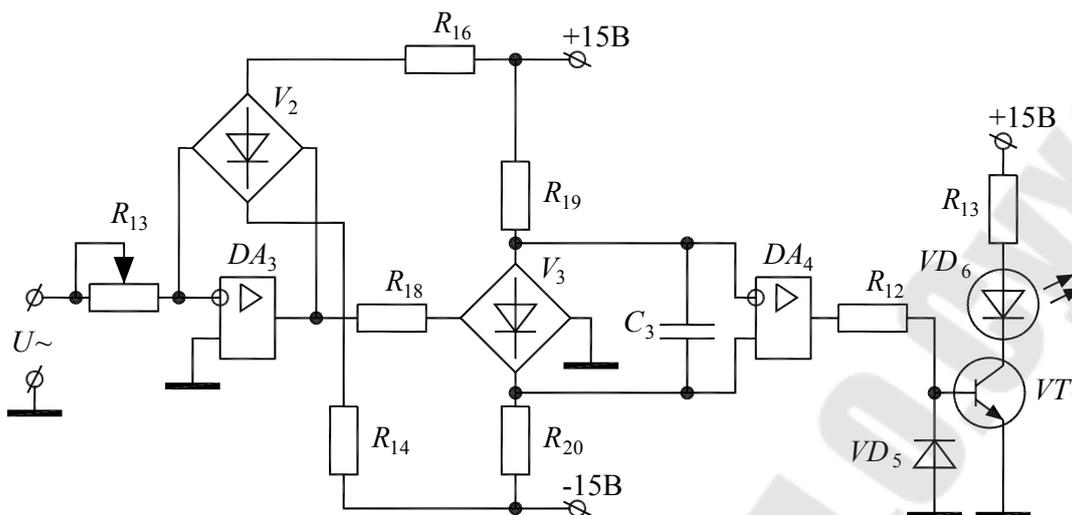


Рис. 1.3. Схема быстродействующего измерительного органа реле тока нулевой последовательности

На элементах DA_3 , R_{13} , R_{14} , R_{16} и диодном мосте V_2 собран двухпороговый компаратор.

Если мгновенные значения входного напряжения не превышают положительных и отрицательных порогов срабатывания компаратора, которые можно изменять с помощью резистора R_{13} , на выходе компаратора, т. е. на выходе операционного усилителя DA_3 напряжение равно нулю. В результате все диоды моста V_3 открыты и по ним протекает ток от источника питания через резисторы R_{19} , R_{20} . Напряжение с этих диодов подается на входы простого компаратора, собранного на операционном усилителе DA_4 . В результате на выходе DA_4 появляется отрицательное напряжение насыщения, закрывающее электронный ключ на транзисторе VT_1 , и светодиод VD_6 не светится. Это соответствует недействию защиты.

В случае аварийной ситуации, когда мгновенные значения входного напряжения превышают пороги срабатывания компаратора, на его выходе появляются положительные и отрицательные импульсы, длительности которых пропорциональны превышению входного напряжения над соответствующим порогом срабатывания. Далее в схеме эти импульсы выпрямляются с помощью диодного моста V_3 . В результате на его выходе появляется напряжение, обратное по знаку тому, что наблюдалось, когда не было аварийной ситуации, и компаратор DA_4 переключается, а светодиод начинает светиться. Это соответствует срабатыванию защиты.

Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде расположены исследуемые схемы. Точки соединения и контрольные точки выведены в виде штырьков с номерами. Питание на стенд подается путем подключения специального разъема. Значения сопротивлений и емкостей написаны рядом с соответствующими элементами.

При работе со стендом необходимо соблюдать следующие правила:

- отключать питание от стенда при сборке и разборке схемы;
- стенд должен стоять на столе и под ним ничего не должно лежать;
- регуляторы переменных резисторов вращать только отверткой.

Входное напряжение на стенд подается с отдельного трансформатора с выведенным наружу регулятором переменного резистора.

Дополнительно к стенду требуются цифровой вольтметр и двухканальный осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения (рис. 1.1), соединив точки 1, 3; 2, 4; 7, 8; 9, 11.

2. Подключите первый канал осциллографа между выходом выпрямителя V_1 (сигнальный провод) и общей точкой 5.

3. Вольтметр постоянного напряжения подключите между верхним штырьком резистора R_5 и точкой 5.

4. Подайте питание на стенд и резистором R_5 установите любое значение опорного напряжения от 0,8 до 3 В, что соответствует уставке реле.

5. Изменяя входное напряжение, добейтесь порога срабатывания реле, наблюдая за светодиодом.

6. По осциллографу измерьте амплитуду выпрямленного напряжения.

7. Рассчитайте длительность отрицательных импульсов $t_{и}$ и положительных пауз $t_{п}$ по формулам (1.1) и (1.2), установив на калькуляторе радианы.

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

9. Подключите второй канал осциллографа к конденсатору C_2 и зарисуйте полученные осциллограммы на входе и выходе интегрирующей цепи.

10. Увеличьте входное напряжение в 1,5 раза и снова зарисуйте осциллограммы.

11. Изменяя входное напряжение, с помощью вольтметра переменного тока измерьте между точками 3 и 4 напряжения срабатывания и возврата реле. Рассчитайте коэффициент возврата.

12. Соедините точки 9 и 10.

13. Повторите п. 11. Сделайте выводы по этим измерениям.

14. Отключите питание от стенда и разберите схему.

15. Соберите схему для исследования триггера Шмитта со сложной положительной обратной связью (рис. 1.2). Для этого соедините точки 1, 3; 2, 4; 7, 21; 24, 11.

16. Подайте питание на стенд и повторите п. 11.

17. Соедините точки 22 и 23.

18. Повторите п. 11. Сделайте выводы по этим измерениям.

19. Отключите питание от стенда и разберите схему.

20. Соберите схему для исследования быстродействующего измерительного органа реле тока нулевой последовательности (рис. 1.3), соединив точки 1, 13; 2, 5; 14, 15; 17, 18; 20, 11.

21. Установите регулятор резистора R_{13} в произвольное (но не крайнее) положение, что соответствует уставке реле.

22. Подключите первый канал осциллографа между точкой 13 (сигнальный провод) и общей точкой 5, а второй канал подключите к выходу DA_3 .

23. Подайте питание на стенд и, изменяя входное напряжение, добейтесь порога срабатывания реле, наблюдая за светодиодом.

24. Зарисуйте полученные осциллограммы.

25. Увеличьте входное напряжение в 1,5 раза и снова зарисуйте осциллограммы.

26. Подключите первый канал осциллографа параллельно конденсатору C_3 и зарисуйте осциллограмму на конденсаторе C_3 .

27. Отключите питание от стенда и разберите схему.

Содержание отчета

Отчет должен содержать названия, чертежи всех исследуемых схем, результатов измерений и расчетов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы изобразить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

Контрольные вопросы

1. Схема и принципы работы унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения.
 2. Осциллограммы работы унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения.
 3. Триггер Шмитта со сложной положительной обратной связью.
 4. Схема и принципы работы быстродействующего измерительного органа реле тока нулевой последовательности.
 5. Осциллограммы работы быстродействующего измерительного органа реле тока нулевой последовательности.
- Литература: [1], [2].

Лабораторная работа № 2

Исследование функциональных элементов микроэлектронных реле

Цель работы: изучить принципы работы измерительных преобразователей «ток–напряжение», блоков электропитания, фазосдвигающих цепей и фильтров симметричных составляющих.

Краткие теоретические сведения

Стандартные измерительные трансформаторы тока имеют, как правило, номинальное значение тока вторичной обмотки 5 А. Это слишком высокий ток для работы электронных схем. Поэтому для его понижения и преобразования в напряжение используют вторичные измерительные преобразователи (рис. 2.1).

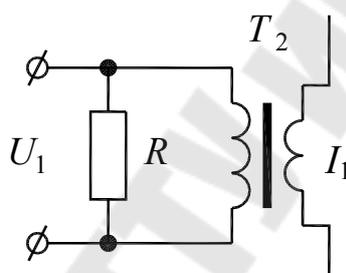


Рис. 2.1. Схема вторичного измерительного преобразователя
«ток–напряжение»

Схема состоит из промежуточного трансформатора тока T_2 и нагрузочного прецизионного (высокоточного) резистора R . Входным параметром для схемы является ток I_1 , снимаемый с вторичной обмотки стандартного измерительного трансформатора тока. Выходное напряжение U_1 рассчитывается по следующей формуле:

$$U_1 = \frac{I_1 \cdot R}{k_{\text{ТТ}}}, \quad (2.1)$$

где $k_{\text{ТТ}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}$ – номинальный коэффициент трансформации трансформатора T_2 .

На подстанциях или распределительных устройствах, не имеющих аккумуляторных батарей, реле защиты получает оперативное пи-

тание непосредственно от токов короткого замыкания, протекающих по измерительным трансформаторам тока в аварийных режимах работы электроустановки. Для питания электронных устройств защиты требуется невысокое (до 30 В) постоянное стабилизированное напряжение.

Схема блока питания от источника переменного оперативного тока приведена на рис. 2.2.

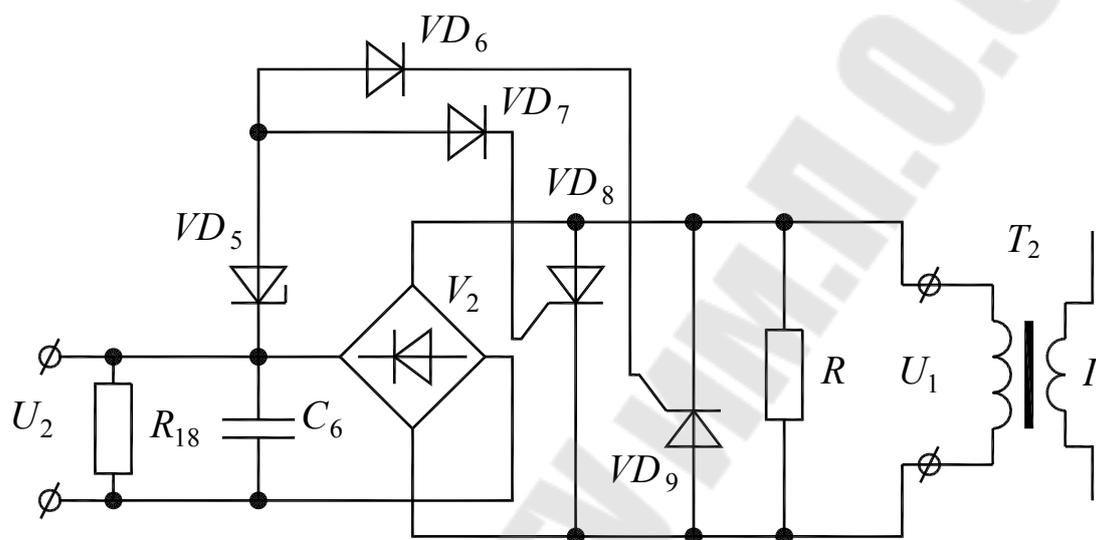


Рис. 2.2. Схема блока питания от источника переменного оперативного тока

Входной оперативный ток I_1 понижается с помощью трансформатора тока T_2 , нагруженного на резистор R . Полученное напряжение U_1 выпрямляется с помощью диодного моста V_2 и сглаживается конденсатором C_6 . В результате на выходе формируется напряжение питания U_2 .

При возникновении короткого замыкания в линии ток I_1 резко возрастает, что, соответственно, приводит к возрастанию напряжений U_1 и U_2 . Однако эти напряжения не превышают допустимых значений благодаря тиристорному ограничителю, выполненному на тиристорах VD_8 , VD_9 , диодах VD_6 , VD_7 и стабилитроне VD_5 . При достижении критического напряжения стабилитрон VD_5 пробивается, открывая через диоды VD_6 , VD_7 тиристор VD_8 на положительной полуволне и тиристор VD_9 – на отрицательной полуволне. Тиристоры шунтируют резистор R , и напряжение U_1 становится равным нулю до конца

соответствующего полупериода. При этом напряжение на нагрузке не теряется благодаря энергии, накопленной в конденсаторе C_6 .

Фазосдвигающие цепи применяются в реле направления мощности, реле сопротивления, а также в реле, реагирующих на симметричные составляющие напряжений или токов.

Схема простейшей фазосдвигающей цепи приведена на рис. 2.3.

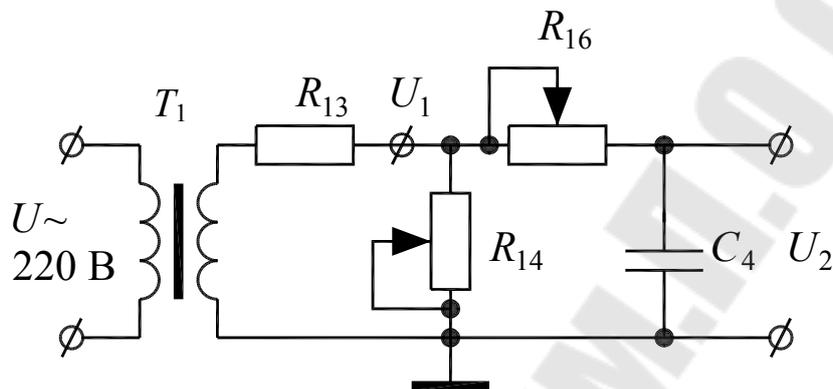


Рис. 2.3. Схема простейшей фазосдвигающей цепи

Входное напряжение понижается трансформатором T_1 до величины U_1 и через делитель напряжения, выполненный на резисторах R_{13} , R_{14} , подается на фазосдвигающую цепь R_{16} , C_4 . Резистор R_{14} позволяет регулировать амплитуду выходного напряжения U_2 , а резистор R_{16} – его фазовый сдвиг относительно напряжения U_1 . Однако при изменении фазы меняется и амплитуда напряжения U_2 . Чем больше фазовый сдвиг, тем меньше значение U_2 .

При отсутствии нагрузки фазовый сдвиг между напряжениями U_1 и U_2 рассчитывается по следующей формуле:

$$\varphi = \text{arctg}(\omega \cdot R_{16} \cdot C_4). \quad (2.2)$$

Реальный диапазон изменения угла φ составляет от 0 до 85° , поскольку при высоких значениях сопротивления R_{16} теряется нагрузочная способность схемы.

Более широкий диапазон изменения угла φ позволяет получить схема, приведенная на рис. 2.4.

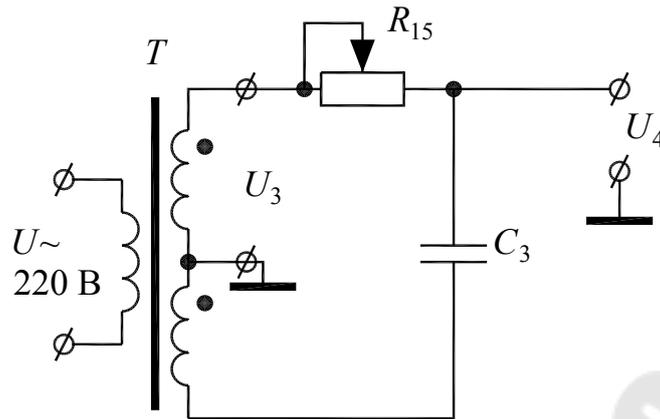


Рис. 2.4. Схема фазосдвигающей цепи с расширенным диапазоном

Трансформатор T имеет две вторичные обмотки, соединенные последовательно и согласно. Средняя точка обмоток соединена с общей точкой схемы. В результате на фазосдвигающую цепь R_{15} , C_3 подается полное синусоидальное напряжение от двух обмоток. Фазовый сдвиг между напряжениями U_3 и U_4 рассчитывается по следующей формуле:

$$\varphi = 180^\circ - \arctg(\omega \cdot R_{15} \cdot C_3). \quad (2.3)$$

Реальный диапазон изменения угла φ составляет от 0 до 160° , при этом амплитуда напряжения U_4 остается неизменной.

Схема для исследования фильтра напряжения обратной последовательности (ФНОП) приведена на рис. 2.5.

На трансформаторе T_1 , а также элементах $R_{13} \dots R_{15}$, C_3 собрана схема для имитации двух линейных напряжений трехфазной сети U_{AB} и U_{CA} . При этом напряжение U_1 имитирует U_{AB} , а напряжение U_4 имитирует U_{CA} . Резистор R_{15} позволяет изменять фазовый сдвиг между этими напряжениями, и в том числе получать значение $\varphi = 120^\circ$, что соответствует симметричной трехфазной системе напряжений.

Непосредственно ФНОП выполнен на операционном усилителе DA_2 и элементах $R_{16} \dots R_{19}$, C_4 . ФНОП реализует известное выражение для напряжения обратной последовательности:

$$U_{\text{обр}} = U_{CA} + U_{AB} \cdot e^{-j \cdot 60^\circ}. \quad (2.4)$$

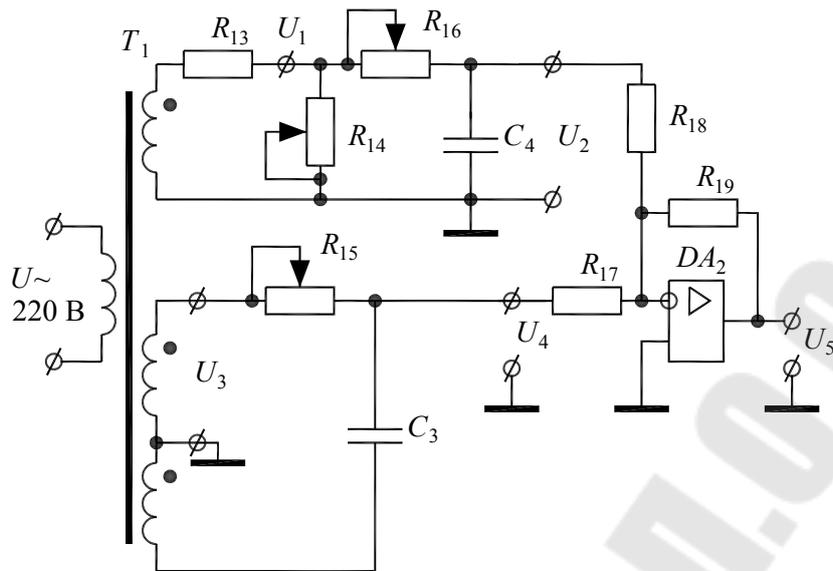


Рис. 2.5. Схема ФНОП

На рис. 2.6 приведена векторная диаграмма, иллюстрирующая принцип расчета напряжения обратной последовательности. В симметричной системе напряжений $U_{обр} = 0$.

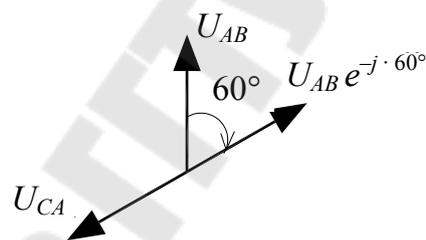


Рис. 2.6. Векторная диаграмма работы ФНОП

Для схемы рис. 2.5 формула (2.4) переписется в следующем виде:

$$U_5 = U_4 + U_1 \cdot e^{-j \cdot 60^\circ}. \quad (2.5)$$

В формуле (2.5) присутствуют операции фазового сдвига на 60° и суммирования. Первую операцию реализует фазосдвигающая цепь R_{16}, C_4 , а вторую – сумматор напряжений на операционном усилителе DA_2 и резисторах $R_{17} \dots R_{19}$.

Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде расположены исследуемые схемы. Точки соединения и контрольные точки выведены в виде штырьков с номера-

ми. Питание на стенд подается от сети 220 В. Значения сопротивлений и емкостей написаны рядом с соответствующими элементами.

При работе со стендом необходимо соблюдать следующие правила:

- отключать питание от стенда при сборке и разборке схемы;
 - стенд должен стоять на столе и под ним ничего не должно лежать;
 - регуляторы переменных резисторов вращать только отверткой.
- Для подачи входного тока используется внешний реостат.

Дополнительно к стенду требуются амперметр, цифровой вольтметр и двухканальный осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему вторичного измерительного преобразователя «ток–напряжение» (рис. 2.1). Для этого с помощью преподавателя подключите внешний источник тока к точкам 26, 27, а магазин сопротивлений и цифровой вольтметр – к точкам 23, 25. Установите внешний реостат в положение «Минимум». Подключение шнура питания к сети 220 В не требуется.

2. Снимите и постройте зависимость $U_1 = f(R)$, установив с помощью реостата произвольное значение входного тока и изменяя сопротивление нагрузки от 0 до 500 Ом (не менее 8 значений).

3. Измените значение входного тока и повторите п. 2.

4. Установите внешний реостат в положение «Минимум». Отсоедините вольтметр, но не разбирайте схему.

5. Определите среднее значение коэффициента трансформации входного трансформатора тока.

6. Соберите схему блока питания от источника переменного оперативного тока (рис. 2.2). Для этого дополнительно к ранее исследуемой схеме соедините точки 22, 23. Осциллограф подключите к точкам 20, 21.

7. Подайте входной ток не менее 1,5 А. Магазин сопротивлений установите в положение 0 Ом.

8. Увеличивая сопротивление R с шагом по 50 Ом, наблюдайте по осциллографу за ростом напряжения U_2 . При прекращении роста этого напряжения зарисуйте в масштабе полученную осциллограмму и определите среднее значение напряжения U_2 .

9. Подключите осциллограф к точкам 23, 25.

10. Зарисуйте осциллограммы напряжения при $R = 40$ Ом, $R = 400$ Ом и $R = 40000$ Ом. Объясните результат.

11. Установите внешний реостат в положение «минимум». Разберите схему.

12. Соберите схему простейшей фазосдвигающей цепи (рис. 2.3). Для этого соедините точки 8, 9; 8', 16; 12, 13; 14, 17. Первый канал осциллографа подключите к точкам 8 (сигнальный провод) и 16, а второй канал – к точке 13. Установите регуляторы резисторов R_{14} , R_{16} в среднее положение.

13. Рассчитайте по формуле (2.2) значение угла φ при максимальном значении сопротивления R_{16} .

14. Подключите стенд к сети и получите на экране осциллографа две сдвинутые по фазе синусоиды. Зарисуйте осциллограммы.

15. Установите регулятор резистора R_{14} в крайнее правое положение. Вращая регулятор резистора R_{16} , наблюдайте по осциллографу за изменением фазы. Определите по осциллографу максимальный фазовый сдвиг между напряжениями U_1 , U_2 и сравните его с расчетным.

16. Вращая регулятор резистора R_{16} , установите $U_2 = 0,5 \cdot U_1$. Измерьте угол φ для этого случая.

17. Отключите стенд. Разберите схему.

18. Соберите схему фазосдвигающей цепи (рис. 2.4). Для этого соедините точки 8', 11. Первый канал осциллографа подключите к точкам 8 (сигнальный провод) и 16, а второй канал – к точке 10.

19. Рассчитайте по формуле (2.3) значение угла φ при максимальном значении сопротивления R_{15} .

20. Подключите стенд к сети и получите на экране осциллографа две сдвинутые по фазе синусоиды. Зарисуйте осциллограммы.

21. Установите регулятор резистора R_{14} в крайнее правое положение. Вращая регулятор резистора R_{15} , наблюдайте по осциллографу за изменением фазы. Определите по осциллографу максимальный фазовый сдвиг между напряжениями U_1 , U_4 и сравните его с расчетным.

22. Отключите стенд. Разберите схему.

23. Соберите схему фильтра напряжения обратной последовательности (ФНОП) (рис. 2.5). Для этого соедините точки 8, 9; 8', 16; 12, 13; 14, 17; 10, 15; 18, 19.

24. Первый канал осциллографа подключите к точкам 8 (сигнальный провод) и 16, а второй канал – к точке 10. Установите равные масштабы по каналам.

25. Подключите стенд и с помощью регулятора резистора R_{14} установите напряжение в точке 8 в 2 раза выше по сравнению с напряжением в точке 10.

26. Подключите сигнальный провод первого канала осциллографа к точке 13 и с помощью регулятора резистора R_{16} установите напряжение, равное напряжению в точке 10. Настройка схемы завершена.

27. Подключите сигнальный провод первого канала осциллографа к точке 19 (на выход ФНОП) и с помощью регулятора резистора R_{15} добейтесь минимального значения выходного напряжения обратной последовательности, что будет соответствовать симметричной трехфазной системе напряжений.

28. С помощью осциллографа измерьте фазовый сдвиг между напряжениями U_1 (точка 8) и U_4 (точка 10). Зарисуйте эти осциллограммы. Постройте векторную диаграмму для этого случая.

29. Проведите имитацию неверного (обратного) чередования фаз. Для этого поменяйте местами перемычки в точках 8 и 8'. Измерьте с помощью осциллографа амплитуду выходного напряжения обратной последовательности (точка 19). С помощью осциллографа измерьте фазовый сдвиг между напряжениями U_1 (точка 8') и U_4 (точка 10). Зарисуйте эти осциллограммы. Постройте векторную диаграмму для этого случая.

30. Отключите стенд. Разберите схему.

Содержание отчета

Отчет должен содержать названия и чертежи всех исследуемых схем и результатов измерений и расчетов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы изобразить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

Контрольные вопросы

1. Принципы работы схемы блока питания от источника переменного оперативного тока.
 2. Осциллограммы работы блока питания от источника переменного оперативного тока.
 3. Принципы работы фазосдвигающих цепей.
 4. Принципы работы ФНОП.
 5. Осциллограммы работы ФНОП.
- Литература: [1], [2].

Лабораторная работа № 3

Исследование органов выдержки времени с независимыми и зависимыми характеристиками срабатывания

Цель работы: изучить принципы работы электронных узлов, выполняющих функцию реле времени, применяемых в типовых комплектных устройствах релейной защиты или в устройствах противоаварийной или режимной автоматики.

Краткие теоретические сведения

На рис. 3.1 изображены типовые времятоковые характеристики срабатывания максимальных токовых защит. Кривая 1 соответствует защите с независимой характеристикой срабатывания, а кривые 2 и 3 относятся к защитам с обратозависимой характеристикой срабатывания. При этом характеристика 2 применяется для защиты электродвигателей от тока перегрузки, так как близка к адиабатическому характеру процесса нагрева машины. Характеристика 3 применяется для защиты линий от токов короткого замыкания.

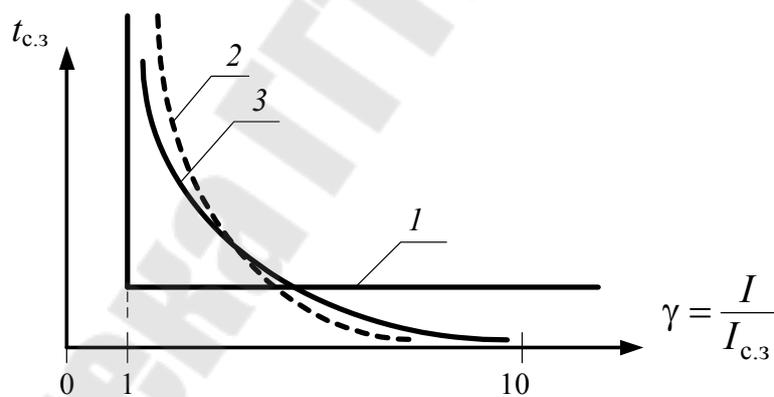


Рис. 3.1. Характеристики срабатывания реле времени

На времятоковых характеристиках по оси абсцисс откладывается кратность γ воздействующего тока I по отношению к току срабатывания защиты $I_{с.з}$.

Согласно рекомендациям международной электротехнической комиссии (МЭК), характеристики токовых зависимых защит должны соответствовать следующему выражению:

$$t_{c.3} = \frac{A}{\gamma^n - 1}, \quad (3.1)$$

где γ – кратность тока срабатывания; A и n – коэффициенты, определяющие крутизну времятоковой характеристики.

МЭК рекомендует $A = 0,14$; $n = 0,02$ для защиты линий и $A = 80$; $n = 2$ – для защиты электрических машин.

Схема органа выдержки времени с независимой характеристикой срабатывания приведена на рис. 3.2.

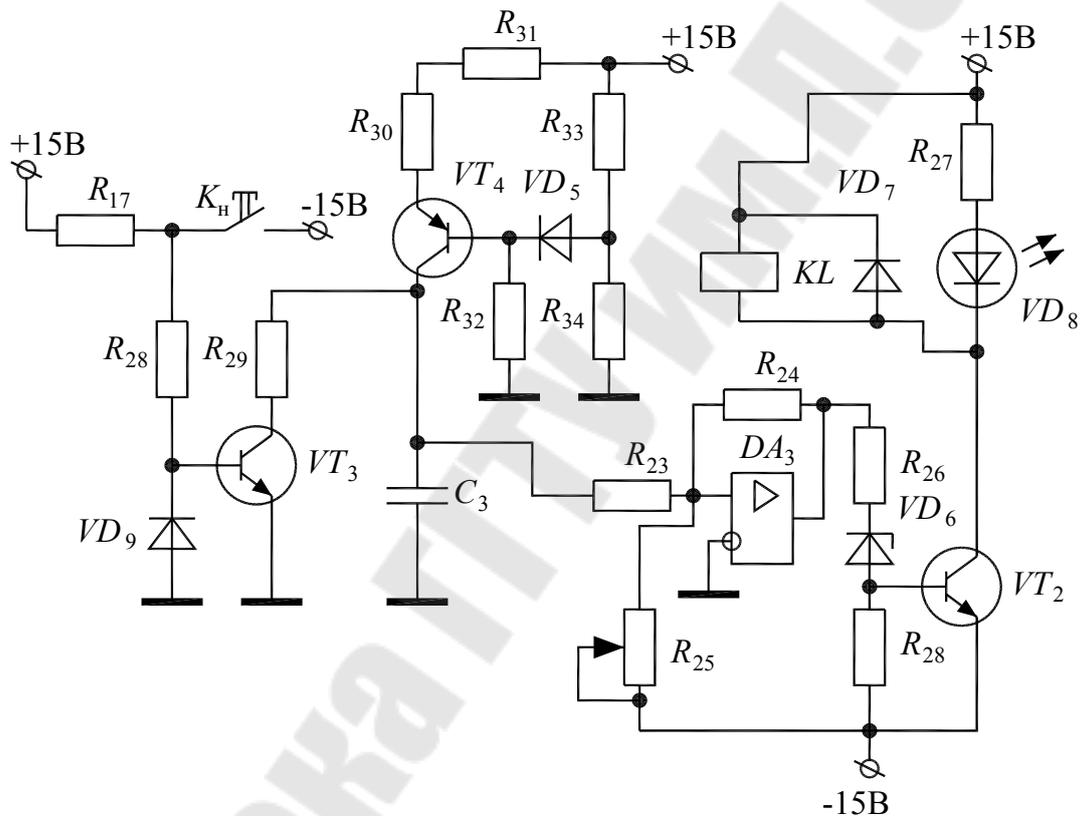


Рис. 3.2. Схема органа выдержки времени с независимой характеристикой срабатывания

На транзисторе VT_4 и элементах $R_{30} \dots R_{34}$, VD_5 собран источник тока, нагрузкой для которого является конденсатор C_3 . Источник тока по существу является стабилизатором значения тока. На транзисторе VT_3 и элементах R_{17} , R_{28} , R_{29} , VD_9 собран электронный ключ. В нормальном режиме транзистор VT_3 открыт током от источника питания $+15$ В, и конденсатор C_3 разряжен через малое сопротивление резистора R_{29} .

При срабатывании пускового органа (например, реле тока) замыкается ключ K_H , меняя полярность тока базы транзистора VT_3 и закрывая этот транзистор. В результате конденсатор C_3 начинает заряжаться от источника тока, и напряжение на нем нарастает по линейному закону. Это напряжение подается на триггер Шмитта, собранный на операционном усилителе DA_3 и резисторах $R_{23} \dots R_{25}$.

Резистор R_{25} позволяет регулировать порог срабатывания триггера Шмитта. При достижении равенства этого порога и напряжения на конденсаторе C_3 происходит переключение триггера Шмитта, в результате чего на его выходе появляется положительное напряжение насыщения, открывающее электронный ключ, собранный на транзисторе VT_2 и элементах R_{26} , R_{28} , VD_6 , светодиод VD_8 начинает светиться, и срабатывает герконовое реле KL .

Схема органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания приведена на рис. 3.3.

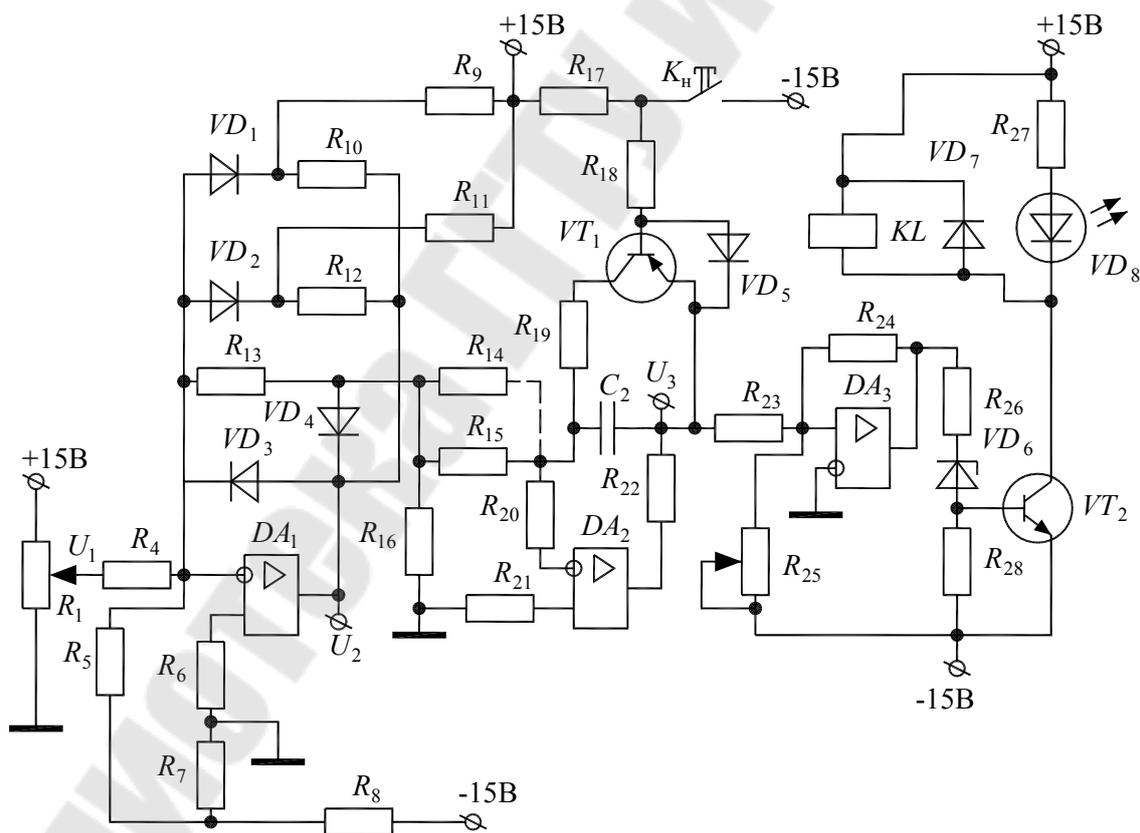


Рис. 3.3. Схема органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания

На операционном усилителе DA_1 и элементах $R_4 \dots R_{13}$, $VD_1 \dots VD_4$ собран функциональный преобразователь, представляющий собой инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления, зависящим от входного напряжения U_1 .

Напряжение U_1 на входе функционального преобразователя суммируется с помощью резисторов R_4 , R_5 с опорным напряжением $U_{оп}$, формируемым с помощью напряжения -15 В и резисторов $R_6 \dots R_8$.

Если $U_1 < U_{оп}$, то выходное напряжение U_2 функционального преобразователя неизменно и положительно по знаку. Если $U_1 > U_{оп}$, то напряжение U_2 вначале растет пропорционально входному напряжению U_1 . При достижении некоторого значения U_2 открывается диод VD_2 , что приводит к параллельному соединению резисторов R_{13} , R_{12} и уменьшению коэффициента усиления функционального преобразователя. При дальнейшем росте напряжения U_2 открывается диод VD_1 , и резистор R_{10} подключается параллельно к резисторам R_{13} , R_{12} . В результате коэффициент усиления функционального преобразователя становится еще меньше.

На рис. 3.4 приведена передаточная характеристика функционального преобразователя. Она представляет собой кусочно-линейную аппроксимацию зеркально отображенной характеристики срабатывания реле времени (см. рис. 3.1). Тангенс угла наклона каждого отрезка прямой аппроксимации численно равен коэффициенту усиления функционального преобразователя.

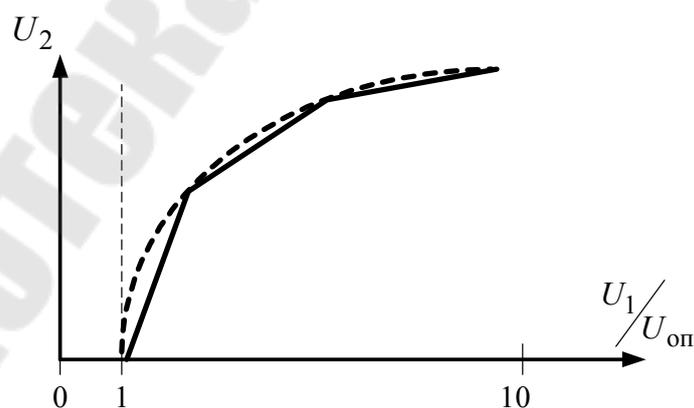


Рис. 3.4. Передаточная характеристика функционального преобразователя

Напряжение U_2 с выхода функционального преобразователя поступает на вход интегратора, собранного на операционном усилителе DA_2 и элементах $R_{14} \dots R_{16}$, $R_{20} \dots R_{22}$, C_2 .

В нормальном состоянии ключ K_H замкнут, и интегратор не работает, так как конденсатор C_2 разряжен через малое сопротивление резистора R_{19} и открытый электронный ключ, который собран на транзисторе VT_1 и элементах R_{17} , R_{18} , VD_5 .

При срабатывании пускового органа (например, реле тока) размыкается ключ K_H , меняя полярность тока базы транзистора VT_1 и закрывая этот транзистор. В результате запускается интегратор, и конденсатор C_2 начинает заряжаться, напряжение U_3 на выходе интегратора нарастает по линейному закону со скоростью, пропорциональной напряжению U_2 .

Напряжение U_3 с выхода интегратора подается на триггер Шмитта, собранный на операционном усилителе DA_3 и резисторах $R_{23} \dots R_{25}$.

Резистор R_{25} позволяет регулировать порог срабатывания триггера Шмитта. При достижении равенства этого порога и напряжения U_3 происходит переключение триггера Шмитта, в результате чего на его выходе появляется положительное напряжение насыщения, открывающее электронный ключ, собранный на транзисторе VT_2 и элементах R_{26} , R_{28} , VD_6 , светодиод VD_8 начинает светиться, и срабатывает герконовое реле KL .

Таким образом, выдержка времени пропорциональна значению напряжения U_2 , которое, в свою очередь, связано функциональной зависимостью с входным напряжением U_1 .

Напряжение U_1 пропорционально контролируемой величине, например, току в линии.

Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде расположены исследуемые схемы. Точки соединения и контрольные точки выведены в виде штырьков с номерами. Питание на стенд подается путем подключения специального разъема. Значения сопротивлений и емкостей написаны рядом с соответствующими элементами.

При работе со стендом необходимо соблюдать следующие правила:

- отключать питание от стенда при сборке и разборке схемы;
 - стенд должен стоять на столе и под ним ничего не должно лежать;
 - регуляторы переменных резисторов вращать только отверткой.
- Дополнительно к стенду требуются цифровой вольтметр, электронный секундомер Ф209, ручной секундомер и осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему органа выдержки времени с независимой характеристикой срабатывания (рис. 3.2). Для этого соедините точки 10, 5; 11, 6.

2. Установите резистор R_{25} в среднее положение. Подключите цифровой вольтметр к точкам 11 и 4.

3. Приготовьте ручной секундомер, например, в сотовом телефоне. Подайте питание на стенд.

4. Сымитируйте срабатывание пускового органа, нажав кнопку K_n . Одновременно с моментом нажатия кнопки запустите секундомер.

5. В момент начала свечения светодиода остановите секундомер. Запишите полученное время срабатывания реле.

6. Повторите п. 4 еще три раза. Рассчитайте среднее время срабатывания реле.

7. С помощью вольтметра зафиксируйте напряжение, при котором происходит срабатывание реле.

8. Закоротите резистор R_{31} , соединив точки 12, 13.

9. Повторите п. 4–7. Объясните полученные результаты.

10. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

11. Соберите схему органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания (рис. 3.3). Для этого соедините точки 1, 3; 7, 6.

12. Регулятор резистора R_1 установите в крайнее левое положение. Подключите цифровой вольтметр между точкой 4 и выходом функционального преобразователя (напряжение U_2).

13. Подайте питание на стенд.

14. Медленно вращая регулятор резистора R_1 , зафиксируйте появление отрицательного напряжения U_2 . Это момент равенства вход-

ного напряжения U_1 и опорного напряжения $U_{\text{оп}}$. Измерьте и запишите входное напряжение в точке 1, т. е. значение $U_{\text{оп}}$.

15. Медленно увеличивая входное напряжение, снимите экспериментальную передаточную характеристику функционального преобразователя, т. е. зависимость $U_2(U_1)$, записав не менее 10 значений. Следите, чтобы напряжение U_2 не достигло максимального значения -12 В. Постройте характеристику $U_2\left(\frac{U_1}{U_{\text{оп}}}\right)$ и найдите на ней области излома (см. рис. 3.4).

16. Рассчитайте и постройте на одном графике с экспериментальной теоретическую передаточную характеристику функционального преобразователя, воспользовавшись следующей формулой:

$$U_2 = -260 \left(\left(\frac{U_1}{U_{\text{оп}}} \right)^{0,02} - 1 \right),$$

приняв кратность $\frac{U_1}{U_{\text{оп}}}$ из п. 15.

17. Подключите осциллограф к точкам 4, 7, установив его на малую развертку (точка медленно движется по экрану).

18. Сымитируйте срабатывание пускового органа, нажав и отпустив кнопку $K_{\text{н}}$.

19. По следу, оставляемому движущейся точкой на экране осциллографа, зарисуйте осциллограмму напряжения на выходе интегратора.

20. Повторите п. 19 для трех разных значений напряжения U_2 .

21. Отключите питание от стенда.

22. Подключите два белых провода прибора Ф209 к точке 5 и напряжению « -15 В». Два черных провода подключите к точкам 8, 9. Переключатель «Режим работы» установите в положение «4». Ручку переключателя «Пуск» установите в верхнее положение.

23. Включите прибор Ф209 и подайте питание на стенд.

24. Нажмите кнопку «Сброс» на приборе Ф209.

25. Переведите ручку переключателя «Пуск» в нижнее положение и дождитесь срабатывания схемы. При этом отсчет времени на экране прибора должен прекратиться.

26. Чтобы подготовить прибор Ф209 к новому измерению, нужно перевести ручку переключателя «Пуск» в верхнее положение и нажать кнопку «Сброс».

27. Снимите зависимость времени срабатывания реле от входного напряжения U_1 (не менее 10 значений).

28. Соедините перемычкой параллельно резисторы R_{14} и R_{15} .

29. Повторите п. 27.

30. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

31. Постройте графики и объясните полученные результаты.

Содержание отчета

Отчет должен содержать названия и рисунки всех исследуемых схем и результатов измерений и расчетов по ним, а также требуемые графики и выводы. Осциллограммы изобразить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

Контрольные вопросы

1. Времятоковые характеристики срабатывания максимальных токовых защит.

2. Схема и принципы работы функционального преобразователя, входящего в состав органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания.

3. Схема и принципы работы органа выдержки времени с независимой характеристикой срабатывания.

4. Схема и принципы работы органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания.

5. Осциллограммы работы органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания.

Литература: [1], [2].

Лабораторная работа № 4

Исследование измерительных органов реле направления мощности

Цель работы: изучить принципы работы электронных узлов, выполняющих функцию реле направления мощности.

Краткие теоретические сведения

Реле направления мощности – это реле, реагирующее на фазовый сдвиг φ_p между током I_p и напряжением U_p , подаваемыми на его входные цепи. Направление мощности срабатывания реле S_p зависит от этого фазового сдвига. Уравнение срабатывания реле имеет следующий вид:

$$S_p = k U_p I_p \cos(\varphi_p + \varphi_{м.ч}),$$

где $\varphi_{м.ч}$ – угол максимальной чувствительности.

Угловая характеристика срабатывания реле направления мощности приведена в полярной системе координат на рис. 4.1.

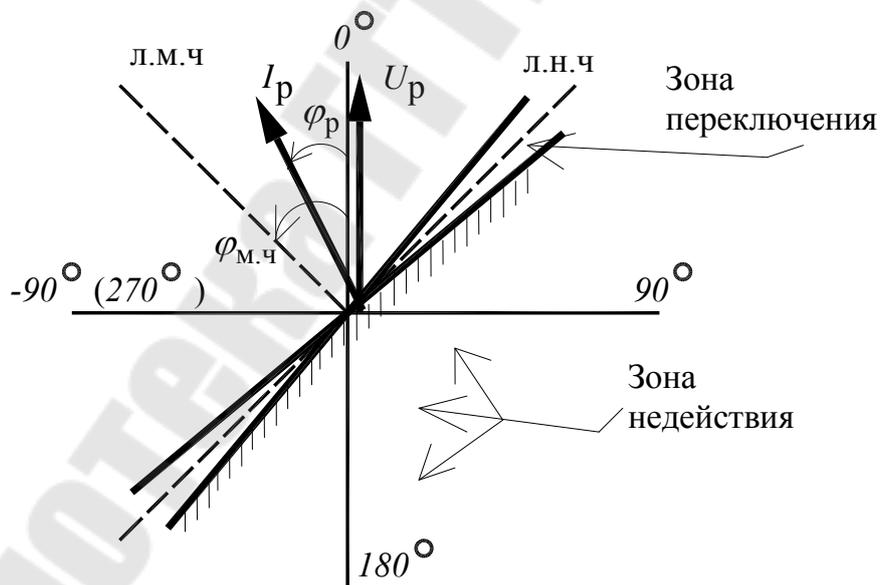


Рис. 4.1. Угловая характеристика реле направления мощности

Угловым диапазоном срабатывания и возврата реле направления мощности составляет 180° . Если мощность положительная, т. е. направлена от шин в линию, то реле срабатывает, замыкая свои контак-

ты. В этом случае вектор тока I_p расположен в зоне действия реле (незаштрихованная область на рис. 4.1). Если мощность имеет обратное направление (отрицательная), то реле не действует, и его контакты разомкнуты. Для исключения дребезга на границе срабатывания реле имеет некоторую зону переключения, обусловленную коэффициентом возврата реле, который должен быть не менее 0,85. Линия, разбивающая пополам зону переключения реле, называется линией нулевой чувствительности. Линия, разбивающая пополам зону действия реле, называется линией максимальной чувствительности. Угол между этой линией и 0° называется углом максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$. На рис. 4.1 $\varphi_{м.ч} = -45^\circ$.

Измерительные органы микроэлектронных реле направления мощности работают по принципу сравнения знаков полувольт двух напряжений U_1 и U_2 , одно из которых пропорционально току в линии, а второе – напряжению.

Схема измерительного органа, реагирующая на совпадение знаков входных напряжений, приведена на рис. 4.2.

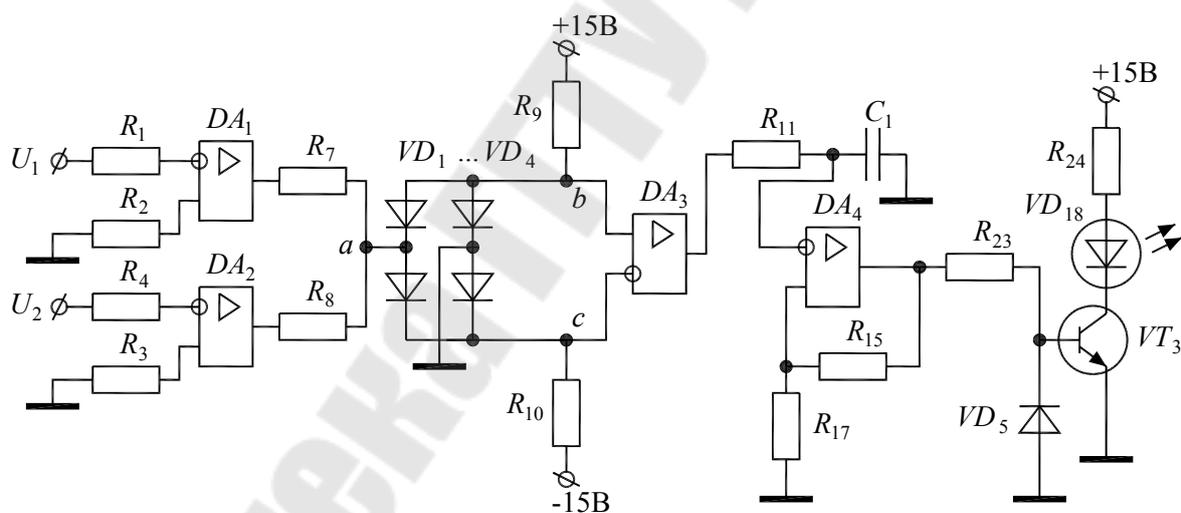


Рис. 4.2. Измерительный орган, реагирующий на совпадение знаков входных напряжений

На операционных усилителях DA_1 , DA_2 и резисторах $R_1 \dots R_4$ реализованы формирователи прямоугольных импульсов из входных синусоидальных напряжений U_1 и U_2 . Импульсы формируются по переходам синусоид через ноль.

Полученные импульсы поступают на входы блока сравнения знаков, выполненного на операционном усилителе DA_3 , включенном по схеме компаратора, диодном мосту $VD_1 \dots VD_4$ и резисторах $R_7 \dots R_{10}$.

С помощью резисторов R_7 , R_8 импульсы суммируются в точке «а». Если импульсы имеют разные знаки, то в точке «а» напряжение будет равно нулю. При этом все диоды $VD_1 \dots VD_4$ будут открыты от источников питания +15 В и –15 В через резисторы R_9 , R_{10} . Потенциал в точке «b» будет больше, чем потенциал в точке «с», и на выходе компаратора DA_3 появится напряжение насыщения положительного знака.

Если входные импульсы имеют одинаковые знаки, то напряжение в точке «а» отличается от нуля, и диоды $VD_1 \dots VD_4$ работают как диодный мост. При этом потенциал в точке «b» будет меньше, чем потенциал в точке «с», и на выходе компаратора DA_3 будет напряжение насыщения отрицательного знака. Таким образом, на выходе компаратора появляются прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна фазовому сдвигу между напряжениями U_1 и U_2 .

Интегрирующая цепь R_{11} , C_1 выделяет среднее значение сигнала, приходящего с выхода компаратора. В результате на конденсаторе C_1 формируется пульсирующее напряжение, поступающее на вход триггера Шмитта, собранного на операционном усилителе DA_4 и резисторах R_{15} , R_{17} . Если время совпадения знаков сравниваемых напряжений будет больше времени их несовпадения, то среднее напряжение на конденсаторе C_1 после нескольких пульсаций установится с отрицательным знаком.

Триггер Шмитта переключается, если напряжение на конденсаторе C_1 меняет знак, что соответствует фазовому сдвигу между напряжениями U_1 и U_2 , равному 90° . То есть в данной схеме линия нулевой чувствительности проходит через оси 90° и -90° (270°) на угловой характеристике.

Сигнал с выхода триггера Шмитта поступает на электронный ключ, собранный на транзисторе VT_3 и элементах R_{23} , VD_5 и управляющий светодиодом VD_{18} . Если светодиод светится – это соответствует срабатыванию измерительного органа, если не светится – возврату.

Схема измерительного органа, реагирующая на несовпадение знаков входных напряжений, приведена на рис. 4.3. По существу эта схема выполняет логическую операцию «Исключающее ИЛИ» и отличается от схемы рис. 4.2 блоком сравнения знаков, выполненном на операционном усилителе DA_3 , включенном по схеме компаратора, диодном мосту $VD_1 \dots VD_4$, диодах VD_5 , VD_6 и резисторах $R_7 \dots R_{10}$.

Прямоугольные импульсы с выходов DA_1 , DA_2 подаются на оба входа диодного моста $VD_1 \dots VD_4$. Если знаки импульсов совпадают, то входное напряжение диодного моста равно нулю, и мост не работает. При этом все диоды $VD_1 \dots VD_4$ будут открыты от источников питания $+15$ В и -15 В через резисторы R_9 , R_{10} . Потенциал в точке «b» будет больше, чем потенциал в точке «c», и на выходе компаратора DA_3 появится напряжение насыщения положительного знака.

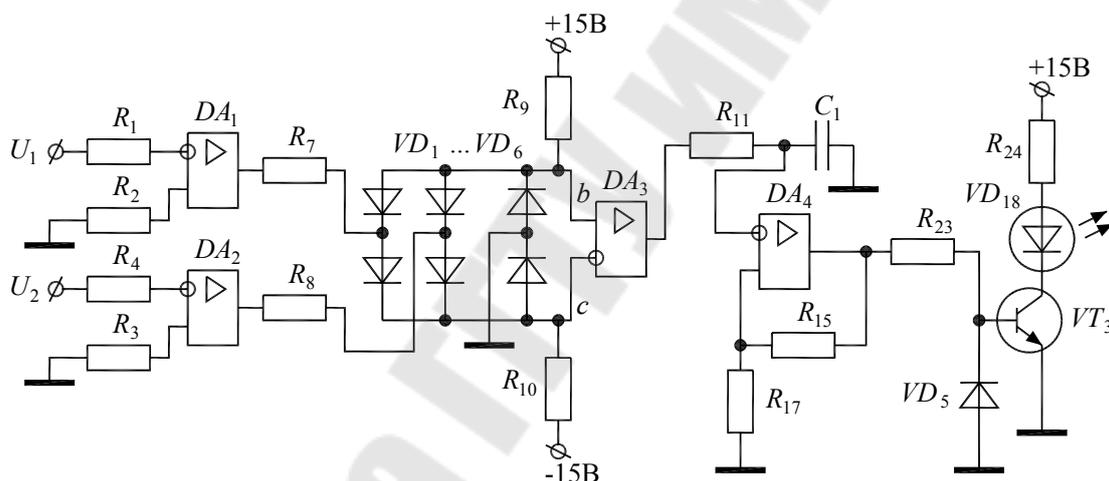


Рис. 4.3. Измерительный орган, реагирующий на несовпадение знаков входных напряжений

Если входные импульсы имеют разные знаки, то диоды $VD_1 \dots VD_4$ работают как диодный мост. При этом потенциал в точке «b» будет меньше, чем потенциал в точке «c», и на выходе компаратора DA_3 будет напряжение насыщения отрицательного знака. Диоды VD_5 , VD_6 создают путь для протекания выходных токов диодного моста.

Далее измерительный орган работает аналогично схеме рис. 4.2.

Схема измерительного органа реле направления мощности, реализованная на логических элементах, приведена на рис. 4.4.

Входные напряжения U_1 и U_2 поступают на входы формирователей прямоугольных импульсов, собранных на транзисторах VT_1 , VT_2 и элементах $R_{18} \dots R_{21}$, VD_{14} , VD_{15} .

Импульсы с коллектора транзистора VT_2 поступают на вход формирователя коротких импульсов, собранного на логических элементах И-НЕ $DD_{1.1}$, $DD_{1.3}$ и элементах C_2 , R_{22} , VD_{16} . По каждому фронту входного импульса формируется короткий импульс.

На логических элементах $DD_{1.4}$, $DD_{2.1}$, $DD_{2.2}$, $DD_{2.3}$, $DD_{2.4}$ собран D -триггер. На его вход записи приходят короткие импульсы с выхода $DD_{1.3}$, а на вход данных – импульсы с коллектора транзистора VT_1 . Если в момент прихода короткого импульса на входе данных – напряжение питания, то на выход триггера записывается логическая «1». Если же на входе данных – напряжение, равное нулю, то на выход триггера записывается логический «0». Так осуществляется сравнение знаков напряжений U_1 и U_2 .

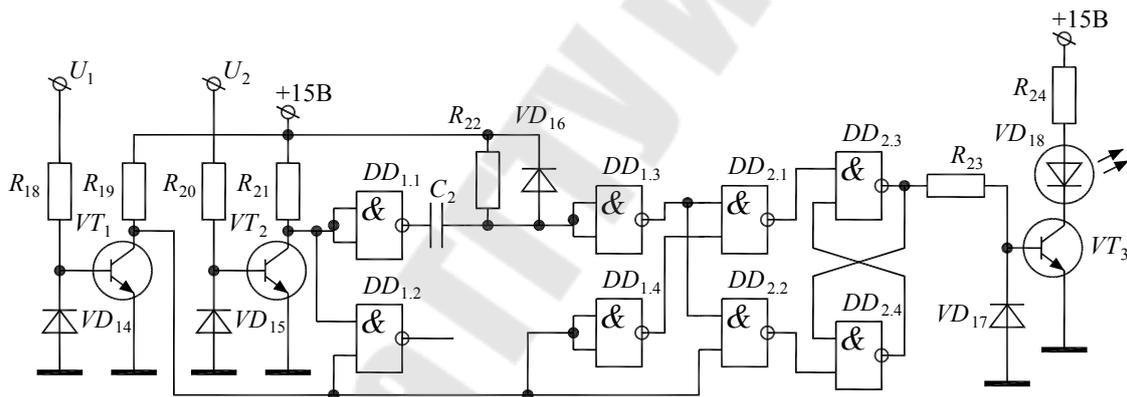


Рис. 4.4. Измерительный орган реле направления мощности на логических элементах

Напряжение с выхода элемента $DD_{2.3}$ через электронный ключ управляет светодиодом. В данной схеме линия нулевой чувствительности проходит через оси 0° и 180° на угловой характеристике.

Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде расположены исследуемые схемы. Точки соединения и контрольные точки выведены в виде штырьков с номерами. Питание на стенд подается путем подключения специального разъема. Значения сопротивлений и емкостей написаны рядом с соответствующими элементами.

При работе со стендом необходимо соблюдать следующие правила:

- отключать питание от стенда при сборке и разборке схемы;
- стенд должен стоять на столе и под ним ничего не должно лежать.

Кроме стенда на рабочем столе расположены устройство ВУП-2М, формирующее напряжение U_2 , и фазорегулятор К502, формирующий напряжение U_1 . Эти напряжения подаются на стенд через тот же разъем, что и питание.

Дополнительно к стенду требуется двухканальный осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему измерительного органа, реагирующего на совпадение входных напряжений одного знака (рис. 4.2). Для этого соедините точки 13', 17; 18, 20; 23, 25; 26, 34; 27, 33. При этом следует иметь в виду, что с обратной стороны жестко соединены точки 5, 6; 7, 8; 10, 11; 9, 12.

2. Осциллограф общим концом «Земля» подключите к точке 4, первый канал – к точке 1, второй канал – к точке 3.

3. Подайте питание на стенд, включите тумблер устройства ВУП-2М и переключатель В17 в блоке К502.

4. С помощью регулятора, расположенного в правом верхнем углу блока К502, установите значение фазы 0° , ориентируясь по красной шкале. **Внимание!** При вращении ручки фазорегулятора не прикладывать значительных усилий.

5. Вращая среднюю ручку устройства ВУП-2М, установите по осциллографу одинаковые амплитуды напряжений U_1 и U_2 . Затем, вращая правую ручку ВУП-2М, совместите по фазе эти напряжения.

6. Снимите угловую характеристику измерительного органа. Для этого с помощью фазорегулятора медленно изменяйте фазу от 0° до 340° и обратно, записывая углы срабатывания и возврата реле по светодиоду. Постройте полученную угловую характеристику (см. рис. 4.1) и, пользуясь правилами геометрии, точно рассчитайте значение угла максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч.}$. Рассчитайте коэффициент возврата.

7. Подключите первый канал осциллографа к выходу компаратора DA_3 , а второй – к точке 25, т. е. к конденсатору C_1 . Зарисуйте

в масштабе три варианта осциллограмм: при $\varphi = \varphi_{м.ч}$; на границе срабатывания измерительного органа; на границе возврата измерительного органа.

8. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

9. Соберите схему измерительного органа, реагирующего на совпадение входных напряжений противоположного знака (рис. 4.3). Для этого соедините точки 17, 18; 21, 22; 19, 20; 23, 25; 26, 34; 27, 33.

10. Подайте питание на стенд и повторите п. 6.

11. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

12. Соберите схему измерительного органа реле направления мощности на логических элементах (рис. 4.4). Для этого соедините точки 1, 29; 3, 30; 32, 33.

13. Подайте питание на стенд и повторите п. 6.

14. Подключите первый канал осциллографа к выходу логического элемента $DD_{1,3}$, а второй канал – к выходу $DD_{1,4}$. Зарисуйте в масштабе три варианта осциллограмм: при $\varphi = \varphi_{м.ч}$; на границе срабатывания измерительного органа; на границе возврата измерительного органа.

15. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

Содержание отчета

Отчет должен содержать названия и рисунки всех исследуемых схем и результатов измерений и расчетов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы изобразить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

Контрольные вопросы

1. Угловые диаграммы реле направления мощности.
2. Принципы работы схемы измерительного органа реле направления мощности, реагирующего на совпадение входных напряжений одного знака.
3. Осциллограммы работы измерительного органа реле направления мощности, реагирующего на совпадение входных напряжений одного знака.
4. Принципы работы схемы измерительного органа реле направления мощности, реагирующего на совпадение входных напряжений противоположного знака.

5. Осциллограммы работы измерительного органа реле направления мощности, реагирующего на совпадение входных напряжений одного знака

6. Принципы работы схемы измерительного органа реле направления мощности на логических элементах.

7. Осциллограммы работы измерительного органа реле направления мощности на логических элементах.

Литература: [1], [2].

Лабораторная работа № 5

Принципы программирования микропроцессорных устройств

Цель работы: изучить основные принципы функционирования микропроцессорных систем и программирования микропроцессоров на примере микропроцессора *Intel 8080* (КР580ВМ80).

Краткие теоретические сведения

Микропроцессор – это наиболее универсальная программируемая цифровая интегральная микросхема. Микропроцессор не может функционировать самостоятельно. Для его работы нужны дополнительные устройства: память, порты ввода-вывода и др. Вместе с микропроцессором эти устройства составляют микропроцессорную систему. Подавляющее большинство современных сложных электронных устройств являются микропроцессорными системами: телевизоры, компьютеры, сотовые телефоны и т. д.

Память – это набор цифровых накопителей или цифровых интегральных микросхем для хранения двоичных кодов. Память бывает энергонезависимая – ПЗУ (постоянное запоминающее устройство) и энергозависимая – ОЗУ (оперативное запоминающее устройство). Примеры ПЗУ: жесткие диски, *CD*, *DVD*, *Flash* и т. д. Память можно представить в виде таблицы с конечной длиной строки. Каждая строка такой таблицы называется **ячейкой памяти**. В ячейках памяти хранятся либо двоичные коды команд, либо двоичные коды данных. Номера ячеек памяти называются **адресами**. В процессе обмена данными с памятью микропроцессор выставляет требуемый двоичный код адреса на соответствующие линии (шину адресов) и считывает из памяти или записывает в память двоичный код команды или данных по соответствующим линиям (шине данных).

Программа – это набор двоичных кодов команд, хранящихся в памяти микропроцессорной системы и управляющих работой микропроцессора. Как правило, программа хранится в ПЗУ.

Ассемблер – это язык программирования микропроцессора. Каждой команде на языке Ассемблер соответствует двоичный код команды микропроцессора. Для сокращенной записи двоичных кодов используют **шестнадцатеричный код**.

Правила перехода от двоичного кода к шестнадцатеричному коду (*BIN* → *HEX*):

1. Разбить исходный двоичный код на участки по четыре бита (тетрады), начиная с младшего бита (справа).
2. Перевести каждую тетраду по отдельности в десятичный код.
3. Полученные десятичные числа перевести в шестнадцатеричные цифры, в соответствии с табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Правила перехода от десятичного кода (*DEC*)
к шестнадцатеричному коду (*HEX*)**

<i>DEC</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>HEX</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>

Пример перехода от десятичного кода к шестнадцатеричному коду показан на рис. 5.1. Символы «0x» обозначают, что число записано в шестнадцатеричном коде.

```

BIN    1101 0101
DEC     13   5
HEX     D   5
    Ответ: 0xD5
```

Рис. 5.1. Переход от десятичного кода к шестнадцатеричному

Список наиболее распространенных команд микропроцессора Intel 8080 и соответствующих им шестнадцатеричных кодов приведен в табл. 5.2.

Большинство команд микропроцессора можно разделить на команды пересылки данных, арифметические команды, логические команды, команды сравнения, команды переходов. Большая часть команд работает с регистрами.

Регистр – это внутренняя ячейка памяти (ОЗУ) микропроцессора. У микропроцессора i8080 имеются регистры общего назначения: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *H*, *L*; и регистры специального назначения, из которых нас интересует только регистр флагов. Регистры общего назначения восьмиразрядные. Однако они могут образовывать 16-разрядные регистровые пары: *BC*, *DE* и *HL*. Основным регистром, через который производится большинство операций, является регистр *A*.

Регистровые пары могут использоваться для косвенной адресации. Например, команда *MOV A, M* означает: переместить в регистр *A* данные, адрес которых находится в регистровой паре *HL*.

Таблица 5.2

Список наиболее распространенных команд микропроцессора Intel 8080

HEX	Команда	Операция	Комментарий
04	<i>INR B</i>	$(B) \leftarrow (B) + 1$	Инкремент регистра <i>B</i>
05	<i>DCR B</i>	$(B) \leftarrow (B) - 1$	Декремент регистра <i>B</i>
2F	<i>CMA</i>	$(A) \leftarrow (\bar{A})$	Инверсия регистра <i>A</i>
32	<i>STA Adr</i>	$((Adr)) \leftarrow (A)$	Запись в ОЗУ
3A	<i>LDA Adr</i>	$(A) \leftarrow ((Adr))$	Чтение из ОЗУ
3C	<i>INR A</i>	$(A) \leftarrow (A) + 1$	Инкремент регистра <i>A</i>
3D	<i>DCR A</i>	$(A) \leftarrow (A) - 1$	Декремент регистра <i>A</i>
3E	<i>MVI A, D8</i>	$(A) \leftarrow D8$	Запись регистра <i>A</i> 8-разрядным числом
47	<i>MOV B, A</i>	$(B) \leftarrow (A)$	Перемещение данных
78	<i>MOV A, B</i>	$(A) \leftarrow (B)$	Перемещение данных
79	<i>MOV A, C</i>	$(A) \leftarrow (C)$	Перемещение данных
4F	<i>MOV C, A</i>	$(C) \leftarrow (A)$	Перемещение данных
80	<i>ADD B</i>	$(A) \leftarrow (A) + (B)$	Сложение данных
90	<i>SUB B</i>	$(A) \leftarrow (A) - (B)$	Вычитание данных
A0	<i>ANA B</i>	$(A) \leftarrow (A) \text{ AND } (B)$	Конъюнкция данных
B0	<i>ORA B</i>	$(A) \leftarrow (A) \text{ OR } (B)$	Дизъюнкция данных
B8	<i>CMP B</i>	$CY \leftarrow 1$, если $(B) > (A)$	Сравнение данных
C2	<i>JNZ Adr</i>	Переход на <i>Adr</i> , если $Z = 0$	Команда условного перехода
C3	<i>JMP Adr</i>	Безусловный переход на <i>Adr</i>	Команда безусловного перехода
C6	<i>ADI D8</i>	$(A) \leftarrow (A) + D8$	Сложение с 8-разрядным числом
C9	<i>RET</i>		Выход из подпрограммы
CA	<i>JZ Adr</i>	Переход на <i>Adr</i> , если $Z = 1$	Команда условного перехода
CD	<i>CALL Adr</i>	Вызов подпрограммы по адресу <i>Adr</i>	
E6	<i>ANI D8</i>	$(A) \leftarrow (A) \text{ AND } D8$	Конъюнкция с 8-разрядным числом
F6	<i>ORI D8</i>	$(A) \leftarrow (A) \text{ OR } D8$	Дизъюнкция с 8-разрядным числом

HEX	Команда	Операция	Комментарий
D2	JNC <i>Adr</i>	Переход на <i>Adr</i> , если $CY = 0$	Команда условного перехода
DA	JC <i>Adr</i>	Переход на <i>Adr</i> , если $CY = 1$	Команда условного перехода
DE	SBI <i>D8</i>	$(A) \leftarrow (A) - D8$	Вычитание 8-разрядного числа

Примечание. Одинарные скобки означают «данные в регистре»; двойные скобки означают «данные, находящиеся по указанному адресу».

Регистр флагов содержит отдельные биты (флаги), значения которых (0 или 1) сообщают о той или иной ситуации. Например, флаг *Z* (*Zero* – ноль) и флаг *CY* (*Carry* – перенос). Флаг $Z = 0$, если результат предыдущей арифметической операции или операции сравнения был не равен нулю. В противном случае $Z = 1$. Флаг $CY = 0$, если результат предыдущей арифметической операции вычитания или операции сравнения был больше нуля. Если результат меньше нуля, то $CY = 1$. Флаг *CY* – это флаг переноса. Флаг $CY = 1$, если разрядность результата сложения чисел превышает 8 бит.

Флаги позволяют осуществлять операции ветвления и циклы в программе с помощью команд переходов. Например, команда *JNC 0x090A* означает: перейти на адрес *0x090A*, если результат предыдущей команды был больше нуля.

В программах на языке Ассемблер используется понятие «метка».

Метка – это название адреса, на который необходимо перейти при выполнении условия в команде перехода. Например, *JNC LPLP* означает, что необходимо перейти на адрес, указанный символом *LPLP*, если результат предыдущей команды был больше нуля.

В комментариях к программам на языке Ассемблер выполняемые действия могут обозначаться символически. Например, $(A) \leftarrow ((0900))$ обозначает, что микропроцессор считывает данные из ОЗУ с адреса *0900* и перемещает их в свой регистр «*A*». Стрелка показывает направление передачи данных.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой учебный микропроцессорный комплект – УМК. Это устройство предназначено для изучения процесса программирования микропроцессора. УМК имеет

дисплей, первые четыре индикатора которого отображают адрес в шестнадцатеричном коде, а оставшиеся два индикатора – данные по выбранному адресу также в шестнадцатеричном коде.

Для выполнения лабораторной работы потребуются следующие операции на УМК:

1. Сброс – нажать «СБ».
2. Переход по адресу: нажать «П», ввести нужный адрес, нажать «ВП».
3. Переход к следующему адресу: нажать «|_|».
4. Запуск программы: нажать «СТ», ввести начальный адрес программы, нажать «ВП».

Порядок выполнения работы

1. Продумайте, как работает программа № 1, приведенная в табл. 5.3.

2. Продумайте, как протестировать программу № 1 с помощью простейших чисел.

3. Получите у преподавателя число в *HEX*-коде (каждому студенту – свое число) и без использования калькулятора вручную проинвертируйте его, получив результат в *HEX*-коде.

Таблица 5.3

Программа инверсии числа в ОЗУ

Адрес <i>HEX</i>	Данные <i>HEX</i>	Команда	Комментарий
0800	3A 00 09	<i>LDA</i> 0900	$(A) \leftarrow ((0900))$ Чтение из ОЗУ
0803	2F	<i>CMA</i>	$(A) \leftarrow (\bar{A})$ Инверсия
0804	32 01 09	<i>STA</i> 0901	$((0901)) \leftarrow (A)$ Запись в ОЗУ
0807	C7	<i>RST0</i>	Выход

4. Запишите программу № 1 в память УМК.
5. Протестируйте программу № 1.
6. Проверьте правильность расчетов по заданному числу с помощью программы № 1.

7. Повторите те же действия с программой № 2, приведенной в табл. 5.4.

8. Продумайте, как работает программа № 3, приведенная в табл. 5.5.

9. Продумайте, как протестировать программу № 3 с помощью простейших чисел.

10. Получите у преподавателя два числа в *HEX*-коде (каждому студенту – свои числа) и без использования калькулятора вручную сложите их, получив результат в *HEX*-коде.

11. Запишите программу № 3 в память УМК и протестируйте ее.

12. Проверьте правильность расчетов по заданным числам с помощью программы № 3.

13. Продумайте, как работает программа № 4, приведенная в табл. 5.6. Зачем нужно поле «метка»?

14. Продумайте, как протестировать программу № 4.

15. Запишите программу № 4 в память УМК и протестируйте ее различными вариантами чисел, записывая в черновик результаты тестирования.

Таблица 5.4

**Программа инверсии числа в ОЗУ
с использованием косвенной адресации**

Адрес <i>HEX</i>	Данные <i>HEX</i>	Команда	Комментарий
0800	21 00 09	<i>LXI H, 0900</i>	$(HL) \leftarrow 0900$ Запись регистровой пары адресом данных
0803	7E	<i>MOV A, M</i>	$(A) \leftarrow ((HL))$ Чтение данных из ОЗУ при косвенной адресации
0804	2F	<i>CMA</i>	$(A) \leftarrow (\bar{A})$ Инверсия
0805	23	<i>INX H</i>	$(HL) \leftarrow (HL) + 1$ Переход к следующему адресу
0806	77	<i>MOV M, A</i>	$((HL)) \leftarrow (A)$ Запись данных в ОЗУ при косвенной адресации
0807	C7	<i>RST0</i>	Выход

Таблица 5.5

Программа увеличения числа в ячейке ОЗУ

Адрес <i>HEX</i>	Данные <i>HEX</i>	Команда	Комментарий
0800	3A 00 09	<i>LDA 0900</i>	$(A) \leftarrow ((0900))$ Чтение из ОЗУ
0803	C6 05	<i>ADI 05</i>	$(A) \leftarrow (A) + 05$ Суммирование
0805	32 01 09	<i>STA 0901</i>	$((0901)) \leftarrow (A)$ Запись в ОЗУ
0808	C7	<i>RST0</i>	Выход

Таблица 5.6

COMP – программа сравнения чисел в ячейках ОЗУ

Адрес <i>HEX</i>	Данные <i>HEX</i>	Метка	Команда	Комментарий
0800	3A 00 09	<i>COMP:</i>	<i>LDA 0900</i>	$(A) \leftarrow ((0900))$ Чтение из ОЗУ первого числа
0803	47		<i>MOV B, A</i>	$(B) \leftarrow (A)$ Сохранение первого числа в регистре В
0804	3A 01 09		<i>LDA 0901</i>	$(A) \leftarrow ((0901))$ Чтение из ОЗУ второго числа
0807	B8		<i>CMP B</i>	$(A) > (B)?$ Сравнение чисел
0808	D2 0C 08		<i>JNC MET</i>	Переход на MET, если $(A) > (B)$
080B	78		<i>MOV A, B</i>	$(A) \leftarrow (B)$ Сохранение большего числа
080C	32 30 09	<i>MET:</i>	<i>STA 0930</i>	$((0930)) \leftarrow (A)$ Запись в ОЗУ
080F	C7		<i>RST0</i>	Выход

16. Измените программу № 4 таким образом, чтобы она определяла меньшее из чисел (воспользуйтесь табл. 5.2). Протестируйте полученную программу.

17. Продумайте, как работает программа № 5, приведенная в табл. 5.7. Составьте блок-схему алгоритма этой программы и покажите ее преподавателю.

Таблица 5.7

SUM – программа сложения массива чисел в ячейках ОЗУ

Адрес <i>HEX</i>	Данные <i>HEX</i>	Метка	Команда	Комментарий
0800	21 00 09	<i>SUM:</i>	<i>LXI H, 0900</i>	$(HL) \leftarrow 0900$. В регистровой паре <i>HL</i> – адрес первого слагаемого
0803	06 05		<i>MVI B, 05</i>	$(B) \leftarrow 05$. В регистре <i>B</i> – количество слагаемых (количество циклов)
0805	CD 10 08		<i>CALL ADD8</i>	Вызов подпрограммы <i>ADD8</i>
0808	32 30 09		<i>STA 0930</i>	$((0930)) \leftarrow (A)$. Запись в ОЗУ младшего байта результата
080B	79		<i>MOV A, C</i>	$(A) \leftarrow (C)$
080C	32 31 09		<i>STA 0931</i>	$((0931)) \leftarrow (A)$. Запись в ОЗУ старшего байта результата
080F	C7		<i>RST0</i>	Выход

Адрес <i>HEX</i>	Данные <i>HEX</i>	Метка	Команда	Комментарий
Подпрограмма <i>ADD8</i> :				
0810	<i>AF</i>	<i>ADD8:</i>	<i>XRA A</i>	$(A) \leftarrow 00$. В регистре <i>A</i> – младшего байта результата
0811	<i>4F</i>		<i>MOV C, A</i>	$(C) \leftarrow 00$. В регистре <i>C</i> – старшего байта результата
0812	<i>86</i>	<i>CNT:</i>	<i>ADD M</i>	$(A) \leftarrow (A) + ((HL))$. Сложение с числом из массива
0813	<i>D2 17 08</i>		<i>JNC TRM</i>	Переход на <i>TRM</i> , если не было переноса в 9-й разряд
0816	<i>0C</i>		<i>INR C</i>	$(C) \leftarrow (C) + 1$. Инкремент старшего байта результата
<u>0817</u>	<i>23</i>	<i>TRM:</i>	<i>INX H</i>	$(HL) \leftarrow (HL) + 1$. Переход к следующему адресу массива
0818	<i>05</i>		<i>DCR B</i>	$(B) \leftarrow (B) - 1$. Декремент счетчика циклов
0819	<i>C2 12 08</i>		<i>JNZ CNT</i>	$(B) = 0$? Цикл
081C	<i>C9</i>		<i>RET</i>	Возврат из подпрограммы

18. Продумайте, как протестировать программу № 5.

19. Получите у преподавателя пять чисел в *HEX*-коде (каждому студенту – свои числа) и без использования калькулятора вручную сложите их, получив результат в *HEX*-коде.

20. Запишите программу № 5 в память УМК и протестируйте ее.

21. Проверьте правильность расчетов по заданным числам с помощью программы № 5.

22. Получите у преподавателя индивидуальное задание по разработке своей программы.

Содержание отчета

Отчет должен содержать все исследуемые программы без столбцов «Адрес» и «Данные»; результаты тестирования программ; подробное описание всех расчетов, результаты проверки расчетов с помощью программ; описание программы, разработанной по заданию преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Что такое микропроцессор?
 2. Что такое микропроцессорная система?
 3. Для чего нужна память в микропроцессорных системах?
 4. Что такое регистры микропроцессора?
 5. Что такое Ассемблер?
 6. Принципы работы программы в табл. 5.3.
- Литература: [3], [4], [5].

Лабораторная работа № 6

Микропроцессорные системы АСКУЭ

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

Краткие теоретические сведения

Автоматизированные 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 радиорелейная или сотовая связь.

Описание лабораторной установки

В состав установки входит 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 сети 380 В подключены ЛАТРы 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 7 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 .

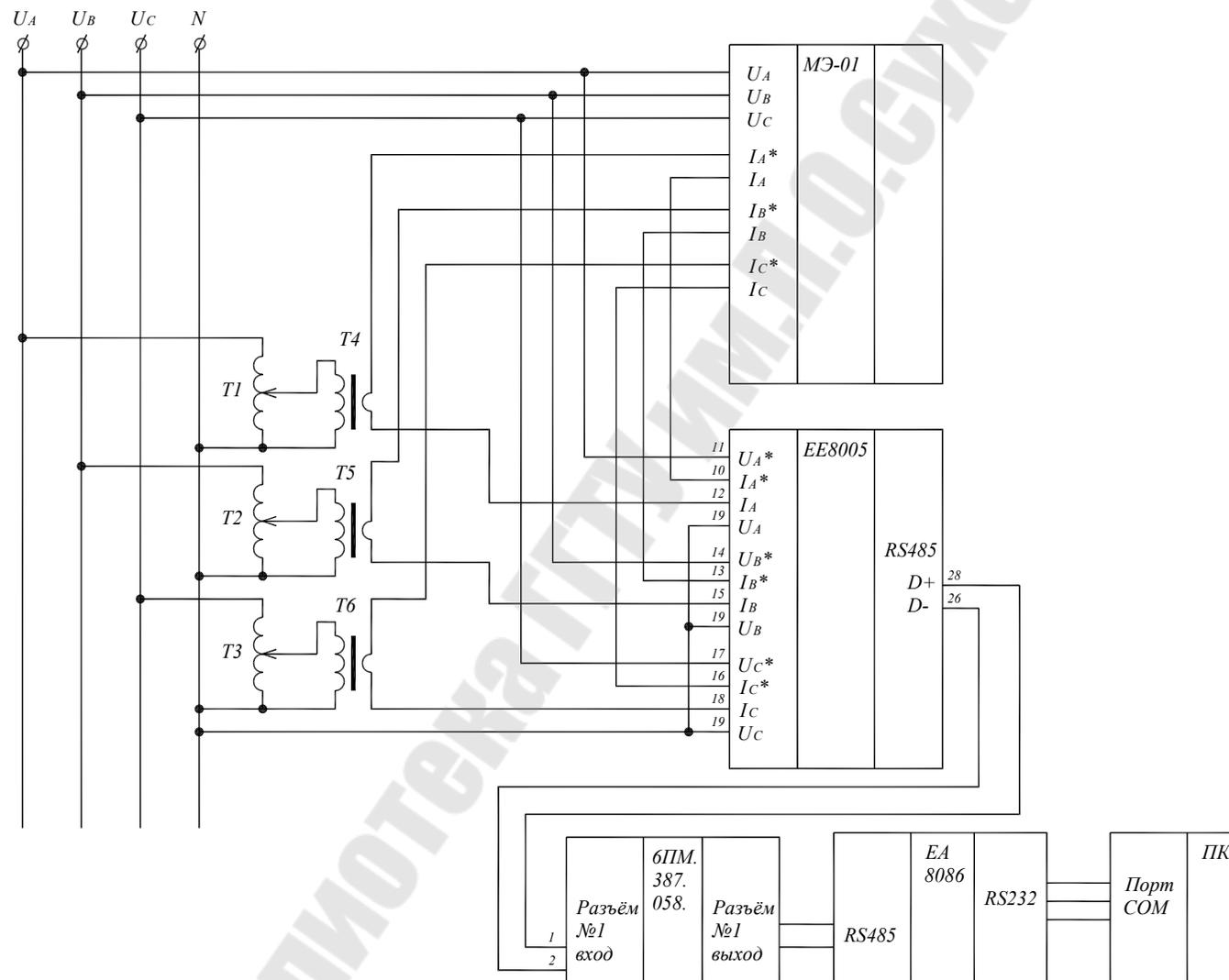


Рис. 6.2. Схема подключения приборов в лабораторной установке

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 4 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 $4 \cdot 4 \cdot 12 = 192$ счетчика.

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.

Внимание! Запрещается выполнять произвольные действия в программе *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42*.

Техника 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».

3. Запрещается выполнять произвольные действия в программе *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42*.

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить лабораторную установку и найти на ней требуемое оборудование. Убедиться в наличии всех соединительных проводов и кабелей.
3. Изучить инструкции по эксплуатации мультиметра МЭ-01, счетчика ЭЭ8005 и концентратора ЕА8086.
4. Изучить технику безопасности.

Порядок выполнения работы

Предварительные настройки

1. Снимите защитную крышку с концентратора ЕА8086.
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. Войдите в режим общих настроек счетчика ЭЭ8005, длительно (более 4 с) нажав кнопку «Выбор».
6. Кратковременно нажав кнопку «Выбор», спишите заводской номер счетчика.
7. Выйдите из режима общих настроек счетчика, длительно нажав кнопку «Выбор».
8. Включите компьютер и загрузите программу *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42*, введя пароль администратора «555».
9. **Внимание!** Запрещается выполнять произвольные действия в программе *ASKUE VZEP 2002 V 4.0.0.42*.
10. Удалите все имеющиеся адреса.
11. Добавьте новый адрес с произвольными данными и одним разъемом. Номер концентратора введите равным 1.
12. Нажмите кнопку «Добавить несколько счетчиков» и добавьте один счетчик.
13. 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.

14. Выйдите в главное меню.
15. Сделайте двойной щелчок мыши на адресе. Внизу экрана должно появиться окно с задействованными разъемами.
16. Нажмите кнопку «Выделить все счетчики в адресе».

Создание варианта тарификации

1. Выберите пункт меню «Адрес → Редактировать вариант тарификации». Выберите номер варианта тарификации в соответствии с вариантом задания.
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.
3. В разделе «Дисплей» выделите варианты для вывода на дисплей счетчика в соответствии с заданием преподавателя. Время вывода на дисплей: от 4 до 6 с.
4. Запишите всю конфигурацию варианта тарификации в отчет.
5. Сохраните все настройки и выйдите в главное меню.

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 4 мин. **Внимание!** Кнопку «Повтор» нажимать строго запрещено.
8. Запишите в отчет все сообщения программы.
9. Выйдите в главное меню программы.
10. Нажимая кнопку «Выбор» на концентраторе, спишите в отчет все показания с его дисплея.
11. Убедитесь, что на дисплее счетчика циклически отображается вся необходимая информация.

Программирование концентратора на чтение

1. Нажмите кнопку «Концентратор».
2. Уберите значок «Связь через модем».
3. Нажмите кнопку «Программирование концентратора на запись».
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 4 мин.
8. Запишите в отчет все сообщения программы.
9. Выйдите в главное меню программы.

Чтение данных со счетчика

1. Установите произвольные значения токов фаз (не менее 2 А), используя регуляторы и мультиметр МЭ-01.
2. Запишите все показания мультиметра, перемещаясь по его меню с помощью кнопок «◀» и «▶» и используя Приложение 1.
3. Спишите с дисплея счетчика текущие номера сезона, зоны и тарифа. Объясните в отчете полученные результаты.
4. Спишите с дисплея счетчика значение средней активной мощности нагрузки, рассчитываемой за последнюю минуту измерений. Сравните эти показания с показаниями мультиметра. Сделайте выводы в отчете.
5. Убедитесь, что показания потребленной энергии в счетчике изменяются.
6. Нажмите кнопку «Концентратор».
7. Уберите значок «Связь через модем».
8. Нажмите кнопку «Чтение данных со счетчиков» и подтвердите выбранные адреса.
9. Дождитесь окончания чтения, выждав не менее 3 мин. **Внимание!** Кнопку «Повтор» нажимать строго запрещено.
10. Запишите в отчет все сообщения программы.
11. Выйдите в главное меню программы.
12. Выделите адрес и нажмите кнопку «Данные со счетчиков».
13. Выпишите в отчет все данные со счетчика. Сделайте выводы о полученных результатах.
14. Установите все регуляторы тока на стенде в положение «Минимум» и отключите стенд.

Таблица 6.1.

Исходные данные для вариантов тарификации

Номер варианта	Количество тарифных сезонов	Количество тарифов	Количество фиксированных дат	Первый сезон				Второй сезон			
				Дата начала	Количество тарифных зон в рабочие дни	Количество тарифных зон в субботу	Количество тарифных зон в воскресенье	Дата начала	Количество тарифных зон в рабочие дни	Количество тарифных зон в субботу	Количество тарифных зон в воскресенье
1	2	4	0	01.01	4	1	1	01.06	2	3	3
2	2	3	0	01.06	3	2	2	01.01	3	3	3
3	2	2	0	01.01	5	1	1	01.06	4	2	2

Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, схему лабораторного стенда (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?
- Литература: [6].

Лабораторная работа № 7

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 междуфазным напряжением и линейным током в соответствующих фазах;
- минимальных, максимальных и средних действующих значений напряжений и токов, активной, реактивной и полной мощности, а также углов между напряжениями и токами за требуемые интервалы времени.

ВАФ имеет три режима: «Измерение»; «Контроль и зарядка аккумуляторной батареи»; «Настройка».

ВАФ обеспечивает измерение переменного напряжения в диапазоне от 25 В до 440 В и переменного тока от 1 А до 100 А.

На дисплее ВАФ предусмотрен вывод векторных диаграмм.

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

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T U^2(t) dt} \approx \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i^2 \cdot \Delta t} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i^2}, \quad (7.1)$$

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:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} I_i^2}. \quad (7.2)$$

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

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

$$S_A = U_{RMS.A} \cdot I_{RMS.A}, \quad (7.3)$$

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

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

$$P_A = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U(t) \cdot I(t) \cdot dt \approx \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i \cdot I_i \cdot \Delta t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} U_i \cdot I_i. \quad (7.4)$$

Реактивная мощность нагрузки по фазе «А» рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_A = \sqrt{S_A^2 - P_A^2}. \quad (7.5)$$

Коэффициент мощности по фазе «А» определяется следующим образом:

$$K_A = \frac{P_A}{S_A}. \quad (7.6)$$

Для фаз «В» и «С» расчет аналогичен.

Формулы (7.3)–(7.6) учитывают все высшие гармонические составляющие в составе напряжений и токов. При этом коэффициент мощности, рассчитанный по (7.6), совпадает со значением $\cos \varphi$ нагрузки только при идеальной синусоидальной форме напряжений и токов.

Программное обеспечение микроконтроллера ВАФ определяет интервалы перехода напряжений и токов через ноль. По этим интервалам рассчитываются частота сети f и фазовые сдвиги φ . Отметим, что понятие «фазовый сдвиг» определено только для сигналов синусоидальной формы. Поэтому, чем больше высших гармоник в форме напряжений и токов, тем выше погрешность расчета значений φ .

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на лабораторной установке «Микропроцессорные системы АСКУЭ».

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. 7.1.

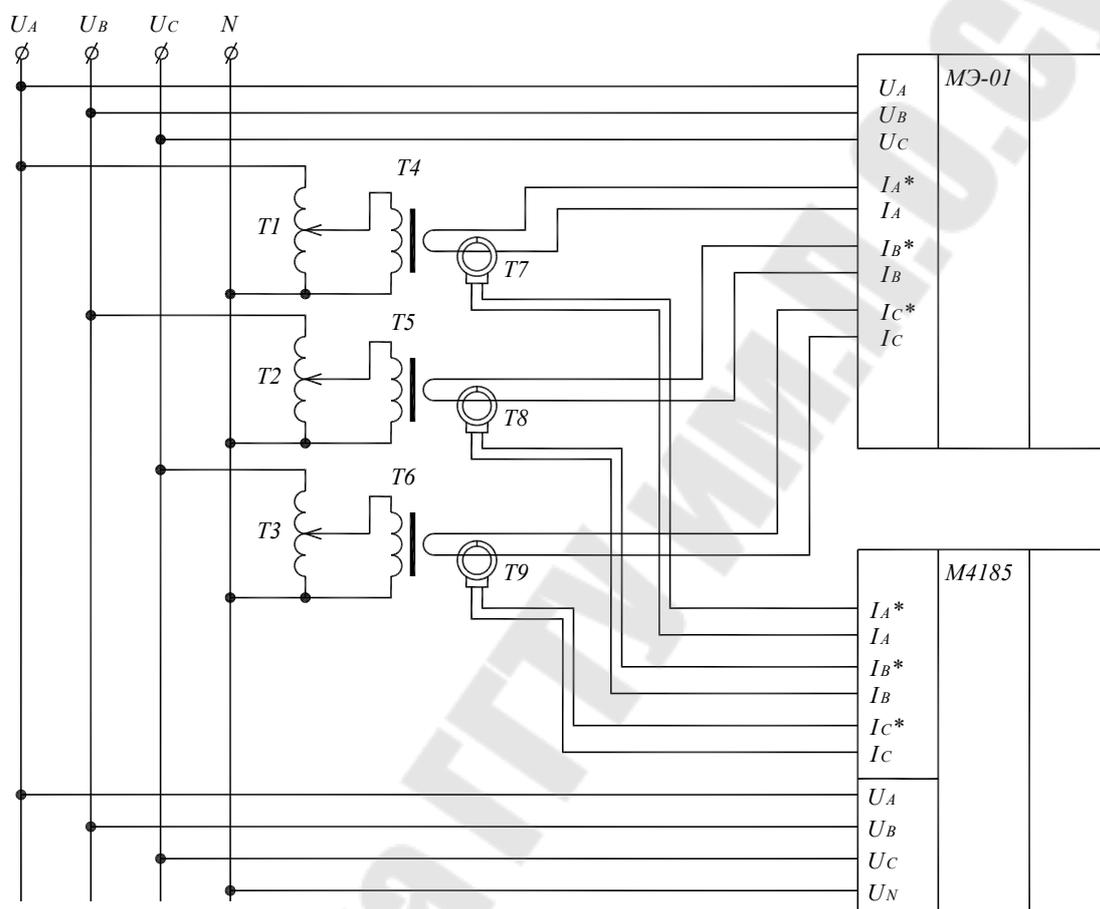


Рис. 7.1. Схема подключения приборов в лабораторной установке

К фазным напряжениям сети 380 В подключены ЛАТРы 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 7 А, а из сети потребляются токи не более 0,1 А.

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 .

Регуляторы токов фаз располагаются в нижней части стенда.

Техника 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».

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить лабораторную установку и найти на ней требуемое оборудование.
3. Изучить технику безопасности.
4. Изучить инструкцию вольтамперфазометра М4185.

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. 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 графики нагрузки по каждой из фаз на 5 мин с интервалами в 20 с.
12. В ВАФ выберите кнопкой «Режим» режим «Накопление данных».
13. Нажмите кнопку «Ввод». Начнет светиться светодиод, данные начнут накапливаться.
14. В течение 5 мин каждые 20 с изменяйте значения токов в соответствии с графиком нагрузки.
15. Нажмите «Ввод» и выберите режим «Остановить накопление».
16. Выберите кнопкой «Режим» режим «Просмотр данных».
17. С помощью клавиш «◀» и «▶» выберите любой интервал, и последовательно нажимая «Ввод», запишите все данные.
18. Объясните полученные результаты.
19. Отключите ВАФ нажатием кнопки питания.
20. Отключите стенд.

Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, схему лабораторного стенда (рис. 7.1), 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 (7.3)–(7.6).
 3. Подставьте (7.1) и (7.2) в (7.3) 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. 7.1.
 6. Какие функции выполняет ВАФ М4185?
 7. Каково назначение органов управления ВАФ М4185?
 8. Какие выводы можно делать по показаниям ВАФ М4185?
- Литература: [6].

Лабораторная работа № 8

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;
- измерение напряжения переменного тока;
- измерение сопротивления постоянному току (режим омметра);
- измерение сопротивления металlosвязи при токе до 250 мА для сопротивлений < 20 Ом;
- вычисление ожидаемого тока короткого замыкания, приведенного к напряжению сети 220 В;
- вычисление угла сдвига фаз между напряжением и током при коротком замыкании.

Петля «фаза–нуль» – это участок сети напряжением до 1 кВ по отношению к электроприемнику. 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. 8.1.

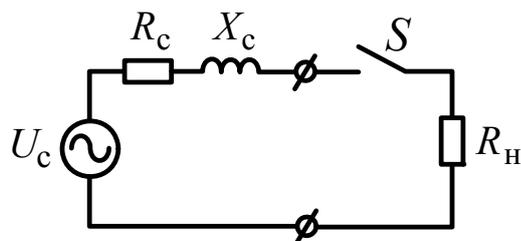


Рис. 8.1. Схема замещения сети с подключенным прибором ИФН-200

Вначале прибор ИФН-200 при разомкнутом ключе S (см. рис. 8.1) 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:

$$\begin{cases} I_H = \frac{U_c}{\sqrt{(R_c + R_H)^2 + X_c^2}}; \\ \operatorname{tg}\varphi = \frac{X_c}{R_c + R_H}, \end{cases} \quad (8.1)$$

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

Решив систему (8.1), 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.

Прибор ИС-10 предназначен для измерения сопротивления элементов заземления, металлосоединений, непрерывности защитных проводников в различных режимах: по двух-, трех- или четырехпроводному методу с автоматическим вычислением удельного сопротивления грунта. С помощью клещей прибор измеряет переменный ток без разрыва измеряемой цепи, а также позволяет сделать качественную оценку состояния единичных заземлителей в многоэлементном заземлении путем определения процентного распределения токов.

Кнопка «РЕЖИМ» используется для переключения прибора в режимы двух-, трех- и четырехпроводного метода измерения, измерения с автоматическим расчетом удельного сопротивления грунта и работы с клещами для измерения тока или определения процентного распределения токов. При этом на индикаторе отображается режим измерения и название гнезд, к которым необходимо подключать измерительные кабели. При входе в режим «МЕНЮ» она выполняет функцию движения по меню вверх.

Кнопка «МЕНЮ» предназначена для перехода прибора в режим «МЕНЮ» 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. 8.2.

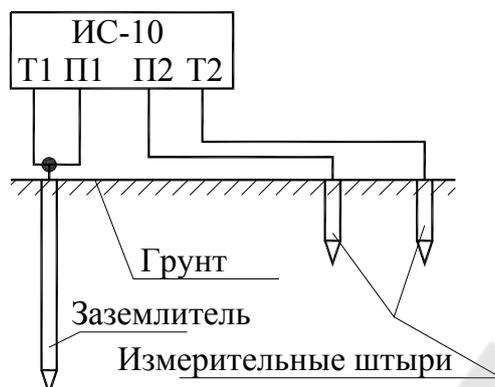


Рис. 8.2. Схема измерения сопротивления заземления по четырехпроводному методу

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), 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 по входам П1 и П2, фильтруется и поступает на входной усилитель, в котором происходит его усиление и преобразование в сигнал постоянного напряжения. Далее этот сигнал поступает в АЦП и затем 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 $1,5 \cdot D$, но не менее 20 м от измеряемого ЗУ.

4. Токовый штырь Т2 установить в грунт на расстоянии более $3 \cdot D$, 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. 8.3.

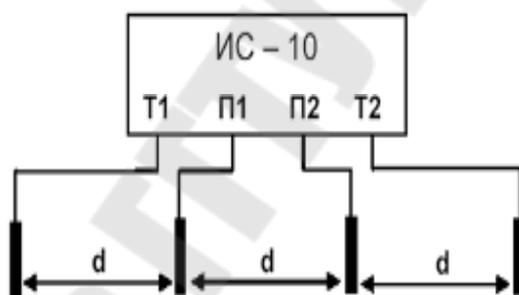


Рис. 8.3. Схема для определения удельного сопротивления грунта

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

Измерительные штыри устанавливаются 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:

$$\rho_{уд} = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot R_E. \quad (8.2)$$

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на стенде «Микропроцессорные измерители сопротивлений».

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 грунт и имеет шаг h , значения которого по вариантам приведены в табл. 8.1. Клеммы, расположенные в узлах сетки, позволяют проводить измерение сопротивления заземления по четырехпроводному методу, а также измерение удельного сопротивления грунта.

Таблица. 8.1

Значения шага сетки грунта и количество заземлителей

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

В зоне заземления имеются 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. 8.1.

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

Вправо и вверх от зоны заземления имеются по два ряда клемм. Подключение измерительных проводов прибора к этим клеммам эквивалентно погружению измерительных штырей в землю.

Техника безопасности

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.

2. Перед началом работы убедиться, что автоматический выключатель стенда находится в положении «Отключено».

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить лабораторную установку и найти на ней требуемое оборудование.
3. Изучить технику безопасности.
4. Изучить руководство по эксплуатации приборов ИФН-200 и ИС-10.

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 позовите 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 и 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.
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. 8.1 с помощью проводов-перемычек обеспечьте подключение необходимого количества заземлителей к общему контуру заземления.

2. Зная значение шага сетки h (табл. 8.1), определите значение максимальной диагонали D заземляющего устройства (расстояния рассчитывайте между ближайшими клеммами на стенде).

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 до самой дальней точки установки измерительных штырей, погружаемых в грунт, в выбранном направлении. Убедитесь, что это расстояние составляет более $3 \cdot D$ и не менее 40 м от заземляющего устройства.

6. Рассчитайте расстояние до ближайшей точки установки штырей, погружаемых в грунт, в выбранном направлении. Убедитесь, что это расстояние составляет более $1,5 \cdot D$ 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.). Сделайте заключение о качестве заземления для электроустановок ниже 1 кВ в соответствии с требованиями ТКП-339.

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

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

17. Проведите измерение удельного сопротивления грунта по методике, рассмотренной в теоретической части, воспользовавшись формулой (8.2).

18. 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. 17.

19. Определите тип грунта, воспользовавшись Приложением 2.

20. Кнопкой «Режим» выберите режим «мА».

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

22. Подсоедините токовые клещи к одному из задействованных заземлителей.

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

24. 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.

25. Отключите прибор ИС-10 кнопкой питания.

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

27. Отключите стенд.

Содержание отчета

Отчет должен содержать 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 (8.1).
 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.
- Литература: [6].

Лабораторная работа № 9

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. В результате работы прибора формируется изображение теплового поля исследуемой поверхности, которое называется **термограммой**.



Рис. 9.1. Тепловизор NEC TN7700

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:

$$W = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^4, \quad (9.1)$$

где θ – температура поверхности объекта в Кельвинах.

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

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{\theta}, \quad (9.2)$$

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

Если объект полностью поглощает все падающие на него электромагнитные волны (в том числе и тепловое излучение), то его называют **абсолютно черным телом**.

Формулы (9.1) и (9.2) справедливы только для абсолютно черного тела. Для получения реальных значений величин W и λ_{\max} их необходимо умножить на величину ε , которая называется **коэффициентом излучения**. Значения величины ε для разных типов поверхностей являются справочными данными.

Структурная схема тепловизора приведена на рис. 9.2.

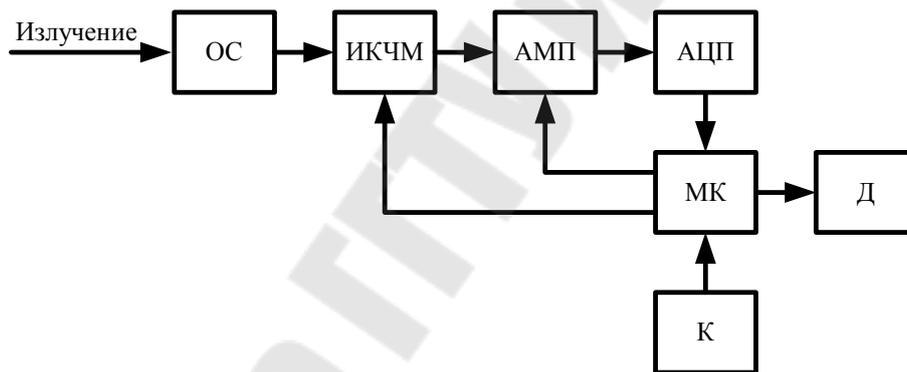


Рис. 9.2. Структурная схема тепловизора:

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 (9.1) и (9.2). 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.

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. 9.3) состоит из следующих элементов: основное окно 1, панель навигации 2, окно статистики 3, окно анализа изображений 4, шкала температур 5, окно диаграмм 6.

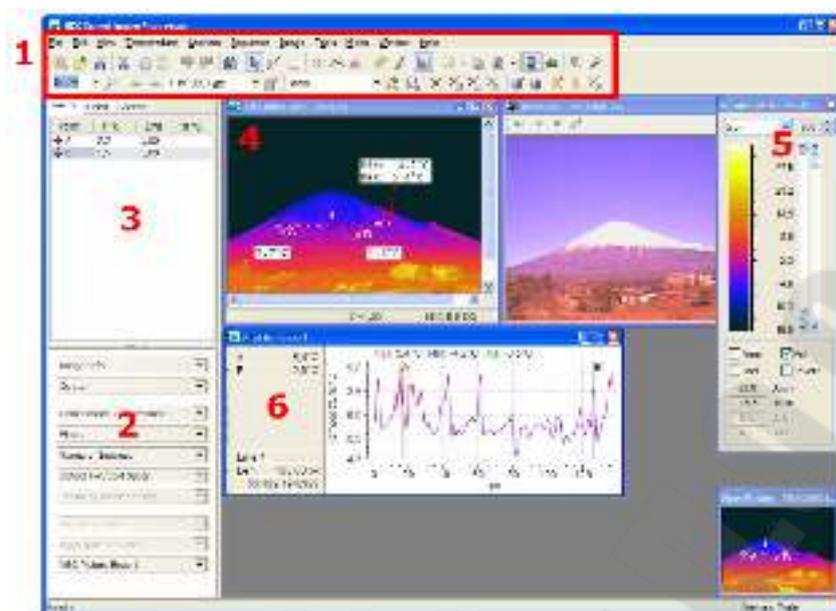


Рис. 9.3. Рабочая область NEC Image Processor

Для проведения термографического анализа можно воспользоваться меню или панелью инструментов (как и в любом стандартном Windows-приложении), приведенной на рис. 9.4.



Рис. 9.4. 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 линейные профили температур по различным участкам термограммы.

Гистограммы позволяют анализировать плотности вероятности распределения температур в выделенной области.

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

Надписи позволяют размещать на термограмме пояснения пользователя.

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

Первая кнопка слева на панели инструментов (рис. 9.4) 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 (рис. 9.3) в выпадающем списке «Корректировка температуры».

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями.
2. Изучите краткое руководство по программе *NEC Image Processor*.

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, кратко опишите в отчете, что Вы наблюдаете на фотографии. При необходимости обратитесь к преподавателю.
4. Изменяя (интуитивно) различные параметры шкалы температур, добейтесь оптимального изображения термограммы. Запишите в отчет все параметры, которые Вы окончательно установили.
5. Используя пункты меню ВИД → ТРЕХМЕРНЫЙ ВИД, получите трехмерное изображение термограммы. Изображение можно поворачивать, используя стрелки на клавиатуре. Дайте в отчете словесное описание наблюдаемой картины.
6. Рассматривая фотографию, на глаз оцените расстояние до ближайших объектов. На панели навигации выберите пункт «Оптика» и установите это расстояние. При достаточно точной оценке расстояния 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 отчете названия и назначение выбранных элементов.

8. Используя объекты «Точка», для каждого из выбранных элементов определите температуры наиболее нагретых точек. Запишите их значения в отчете.

9. Используя объекты «Контур», для каждого из выбранных элементов получите линейные профили температур (в наиболее с Вашей точки зрения интересных направлениях). Зарисуйте в отчете графики этих профилей и сделайте по каждому из них выводы.

10. Используя объекты «Гистограмма», для каждого из выбранных элементов по границам их контуров получите соответствующие гистограммы. Зарисуйте в отчете гистограммы и по каждой из них сделайте выводы.

Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, описание исследуемых объектов, описание хода работы, необходимые графики и выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое тепловизор? Как работает тепловизор?
 2. Что такое термограмма и температурная шкала?
 3. Для чего предназначена программа *NEC Image Processor*?
 4. Какие средства термографического анализа есть в программе *NEC Image Processor*?
 5. В чем разница между объектами «Контур» и «Гистограмма»?
- Литература: [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко, Е. В. Функциональные элементы релейных устройств на интегральных микросхемах / Е. В. Лысенко. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.

2. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем : учеб. пособие для техникумов / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.

3. Новиков, Ю. В. Основы микропроцессорной техники : курс лекций / Ю. В. Новиков. – М. : Интернет-ун-т информ. технологий, 2004. – 438 с.

4. Микропроцессорные системы : учеб пособие для вузов / Е. К. Александров, Р. И. Грушвицкий ; под общ. ред. Д. В. Пузанкова. – СПб. : Политехника, 2002. – 935 с.

5. Коган, Б. М. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики / Б. М. Коган, В. В. Сташин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.

6. Атамалян, Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин : учеб. пособие / Э. Г. Атамалян. – М. : Дрофа, 2005. – 415 с.

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

Таблица П.2.1

Значения удельного сопротивления грунта

Грунт	$R_{уд}$, Ом · м
Базальт	2000
Бетон	40–1 000
Глина	
Глина влажная	20
Глина полутвердая	60
Гнейс разложившийся	275
Гравий	
Гравий глинистый, неоднородный	300
Гравий однородный	800
Гранит	1100–22000
Графитовая крошка	0,1–2
Дресва (мелкий щебень/крупный песок)	5 500
Зола, пепел	40
Известняк поверхностный	3000–5000
Ил	30
Каменный уголь	150
Кварц	15000
Кокс	2,5
Лесс (желтозем)	250
Мел	60
Мергель	
Мергель обычный	150
Мергель глинистый (50–75 % глинистых частиц)	50
Песок	
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	
Суглинок, сильно увлажненный грунтовыми водами	10–60
Суглинок полутвердый, лесовидный	100
Суглинок при температуре –5 °С	150
Сланец графитовый	55
Супесь (супесок)	150
Торф	
Торф при температуре +10 °С	25
Торф при температуре 0 °С	50

Содержание

<i>Лабораторная работа № 1. Исследование измерительных органов микроэлектронных реле тока и напряжения.....</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Исследование функциональных элементов микроэлектронных реле</i>	<i>10</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Исследование органов выдержки времени с независимыми и зависимыми характеристиками срабатывания</i>	<i>18</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Исследование измерительных органов реле направления мощности</i>	<i>26</i>
<i>Лабораторная работа № 5. Принципы программирования микропроцессорных устройств</i>	<i>34</i>
<i>Лабораторная работа № 6. Микропроцессорные системы АСКУЭ</i>	<i>43</i>
<i>Лабораторная работа № 7. Микропроцессорный вольтамперфазометр</i>	<i>52</i>
<i>Лабораторная работа № 8. Микропроцессорные измерители сопротивлений</i>	<i>57</i>
<i>Лабораторная работа № 9. Определение состояния электрооборудования по показаниям тепловизора</i>	<i>66</i>
<i>Литература</i>	<i>72</i>
<i>Приложения</i>	<i>73</i>

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Зализный Дмитрий Иванович

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В ЭНЕРГЕТИКЕ

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

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

Т. Н. Мисюрова
Н. Б. Козловская

Подписано в печать 18.02.15.

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

Ризография. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,58.

Изд. № 96.

<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.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48