

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»»

**Д. И. Зализный, В. В. Курганов**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-43 01 02  
«Электроэнергетические системы и сети»  
дневной формы обучения**

Гомель 2011

УДК 621.311.1-523(075.8)  
ББК 31.27-05я73  
3-23

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 28.12.2010 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Промышленная электроника» ГГТУ им. П. О. Сухого *Э. М. Виноградов*

- Зализный, Д. И.**  
3-23 Автоматизация электрических сетей : лаборатор. практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» днев. формы обучения / Д. И. Зализный, В. В. Курганов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 66 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: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены принципы функционирования микроэлектронных и микропроцессорных устройств автоматики в электрических сетях.

Для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» дневной формы обучения.

**УДК 621.311.1-523(075.8)  
ББК 31.27-05я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2011

# 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-выключить».

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

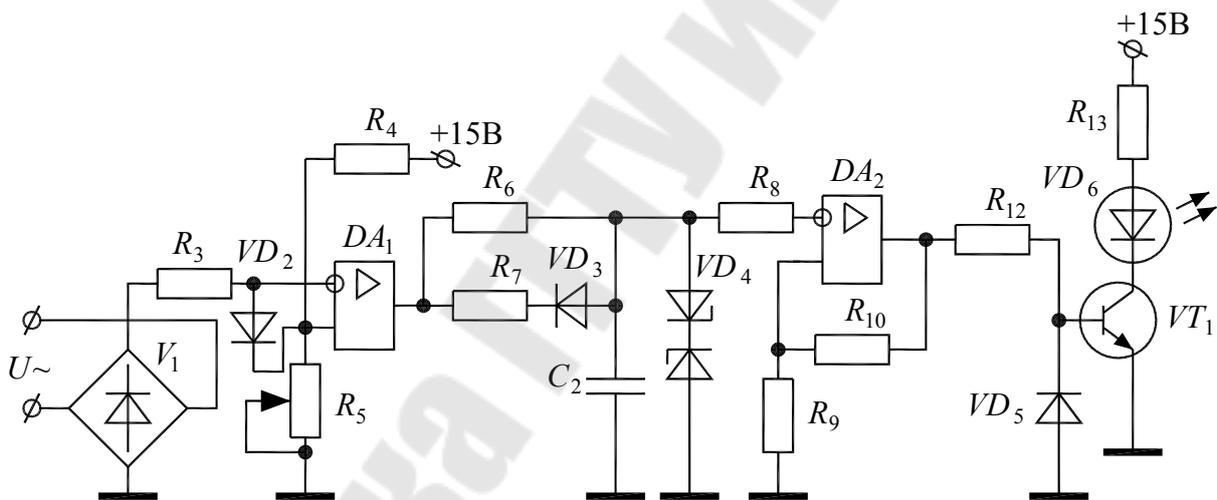


Рис. 1.1

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  $R_4$ ,  $R_5$  подаётся 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, то есть 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  $t_{и}$ :

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

где  $f$  – частота сети.

Длительность паузы между импульсами рассчитывается по 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.



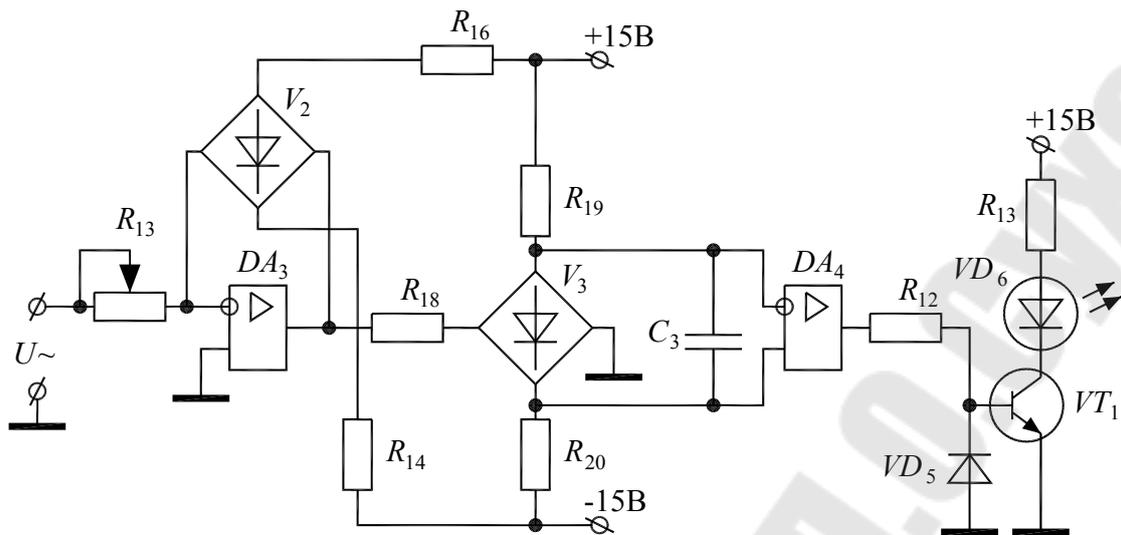


Рис. 1.3

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, то есть 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 подаётся 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 подаётся путём подключения специального разъёма. 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 отвёрткой.

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 т. 5.

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

4. Подайте питание на стенд и резистором  $R_5$  установите любое значение опорного напряжения от 0,5 до 1 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 т. 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 т. 13 (сигнальный провод) и общей т. 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 и зарисуйте осциллограмму на конденсаторе  $C_3$ .

27. Отключите питание от стенда и разберите схему.

### Содержание отчёта

Названия и чертежи всех исследуемых схем и результатов измерений и расчётов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы приводить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

### **Контрольные вопросы**

1. Принципы работы схемы 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. Принципы работы схемы 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.

Схема вторичного измерительного преобразователя ток-напряжение приведена на рис. 2.1.

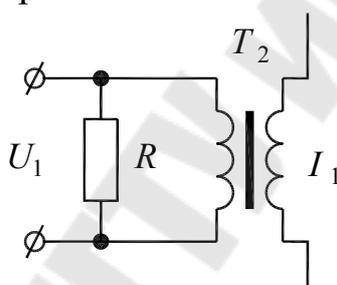


Рис. 2.1

Схема состоит из понижающего 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 формуле:

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

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

На подстанциях или распределительных устройствах, не имеющих аккумуляторных батарей, реле защиты получает оперативное питание непосредственно от токов короткого замыкания, протекающих по измерительным трансформаторам тока в аварийных режимах рабо-

ты 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.

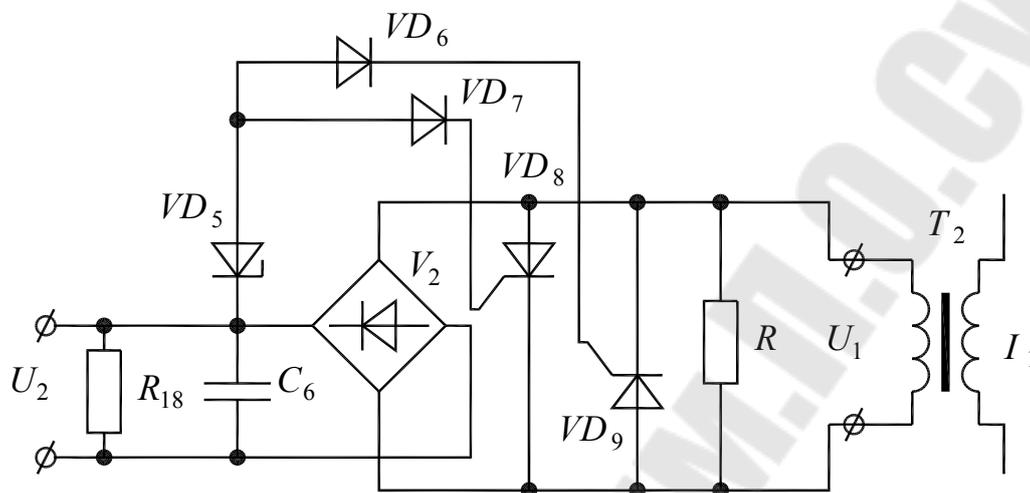


Рис. 2.2

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.

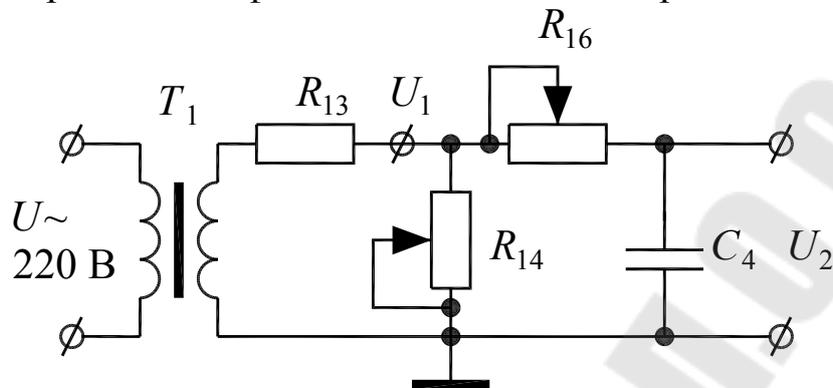


Рис. 2.3

Входное напряжение понижается трансформатором  $T_1$  до величины  $U_1$  и через делитель напряжения, выполненный на резисторах  $R_{13}$ ,  $R_{14}$ , подаётся 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 формуле:

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

Реальный диапазон изменения угла  $\varphi$  составляет от 0 до  $70^\circ$ , поскольку при высоких значениях сопротивления  $R_{16}$  теряется нагрузочная способность схемы.

Более широкий диапазон изменения угла  $\varphi$  позволяет получить схема, приведенная на рис. 2.4.

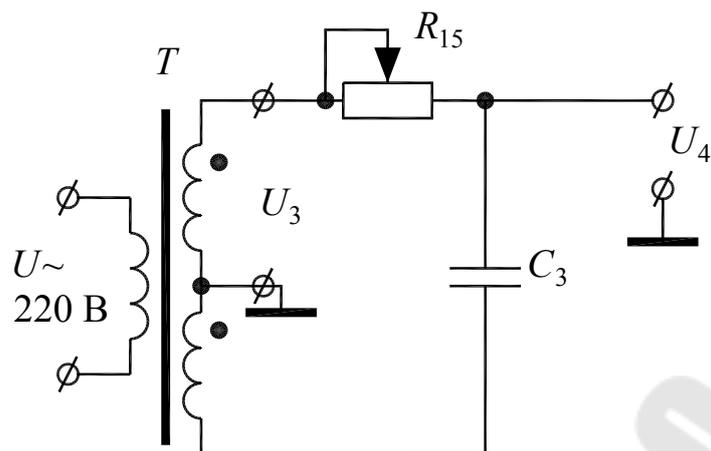


Рис. 2.4

Трансформатор  $T$  имеет две вторичные обмотки, соединённые последовательно и согласно. В результате на фазосдвигающую цепь  $R_{15}$ ,  $C_3$  подаются две синусоиды в противофазе. Фазовый сдвиг между напряжениями  $U_3$  и  $U_4$  рассчитывается по формуле:

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

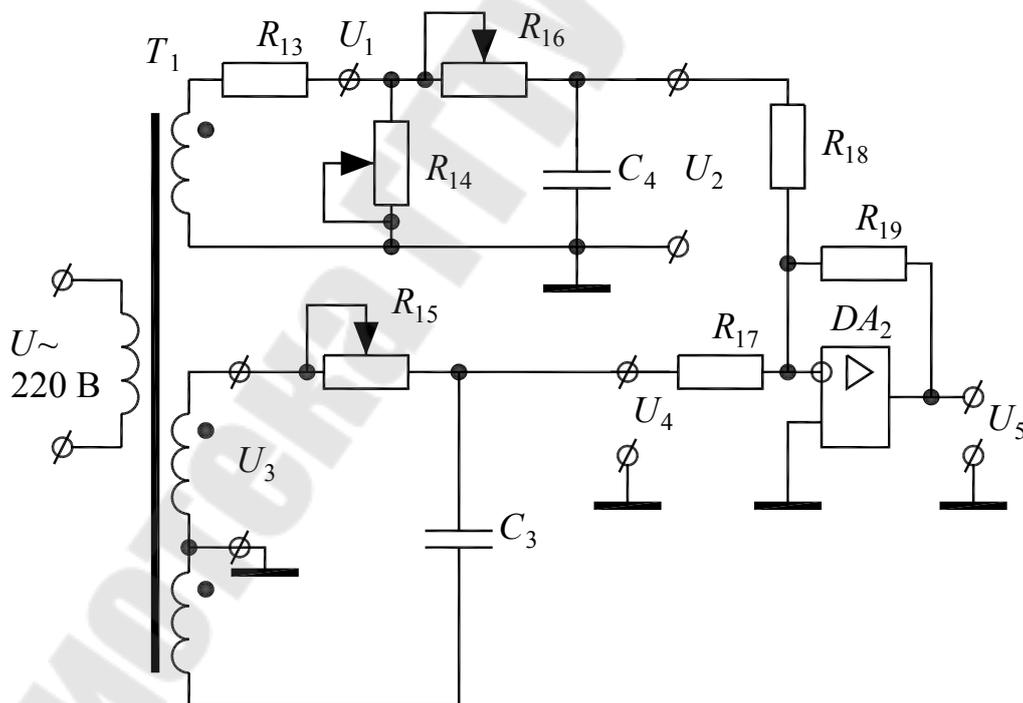


Рис. 2.5

Реальный диапазон изменения угла  $\varphi$  составляет от  $0$  до  $160^\circ$ , при этом амплитуда напряжения  $U_4$  остаётся неизменной.

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

На трансформаторе  $T_1$ , а также элементах  $R_{13}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{15}$ ,  $C_3$  собрана схема для имитации двух линейных напряжений трёхфазной 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, в том числе и получать значение  $\varphi = 120^\circ$ , что соответствует симметричной трёхфазной системе напряжений.

Непосредственно ФНОП выполнен на операционном усилителе  $DA_2$  и элементах  $R_{16}$ ,  $R_{17}$ ,  $R_{18}$ ,  $R_{19}$ ,  $C_4$ . ФНОП реализует известную формулу для напряжения обратной последовательности:

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

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

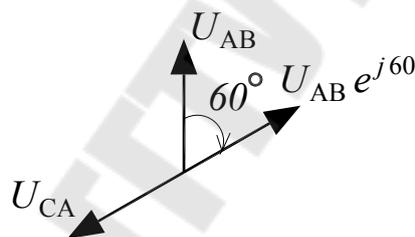


Рис. 2.6

Для схемы рис. 2.5 формула (2.4) переписывается в 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  $60^\circ$  и суммирования. Первую операцию реализует фазосдвигающая цепь  $R_{16}$ ,  $C_4$ , а вторую – сумматор напряжений на операционном усилителе  $DA_2$  и резисторах  $R_{17}$ ,  $R_{18}$ ,  $R_{19}$ .

### Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде расположены исследуемые схемы. Точки соединения и контрольные точки выведены в виде штырьков с номерами. Питание на стенд подаётся от сети 220 В. Значения сопро-

тивлений 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 отвёрткой.

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  $\varphi$  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 расчётным.

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

17. Отключите стенд. Разберите схему.

18. Соберите схему фазосдвигающей цепи (рис. 2.4). Для этого 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  $\varphi$  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 расчётным.

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 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 нулевой последовательности, что будет соответствовать симметричной трёхфазной 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 чередования фаз. Для этого поменяйте местами переключки в точках 8 и 8'. Измерьте с помощью осциллографа амплитуду выходного напряжения обратной последовательности (точка 19). Постройте векторную диаграмму для этого случая.

30. Отключите стенд. Разберите схему.

### **Содержание отчёта**

Названия и чертежи всех исследуемых схем и результатов измерений и расчётов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы приводить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

### **Контрольные вопросы**

1. Принципы работы схемы вторичного измерительного преобразователя ток-напряжение.
2. Принципы работы схемы блока питания от источника переменного оперативного тока.
3. Осциллограммы работы блока питания от источника переменного оперативного тока.
4. Принципы работы фазосдвигающих цепей.
5. Принципы работы ФНОП.
6. 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 время-токовые 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.

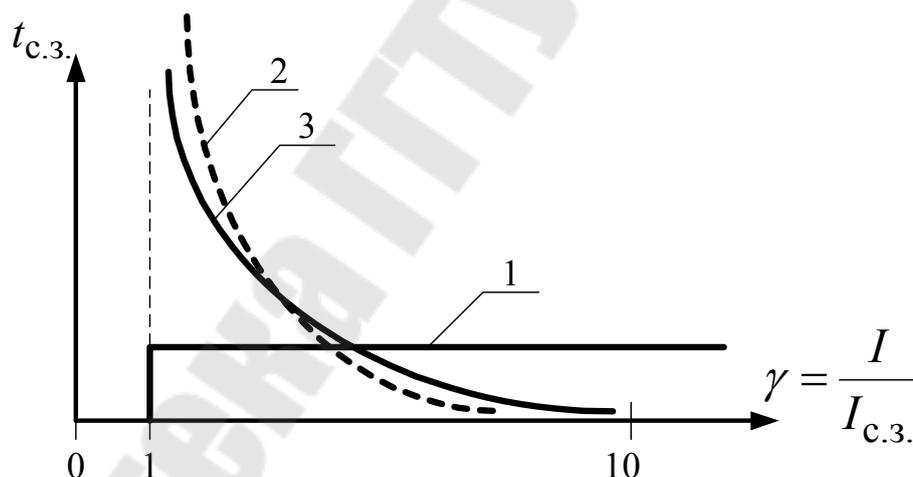


Рис. 3.1

На время-токовых характеристиках по оси абсцисс откладывается кратность  $\gamma$  воздействующего тока  $I$  по отношению к току срабатывания защиты  $I_{с.з.}$ .

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

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

где  $\gamma$  – кратность тока срабатывания;

$A$  и  $n$  – коэффициенты, определяющие крутизну время-токовой 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.

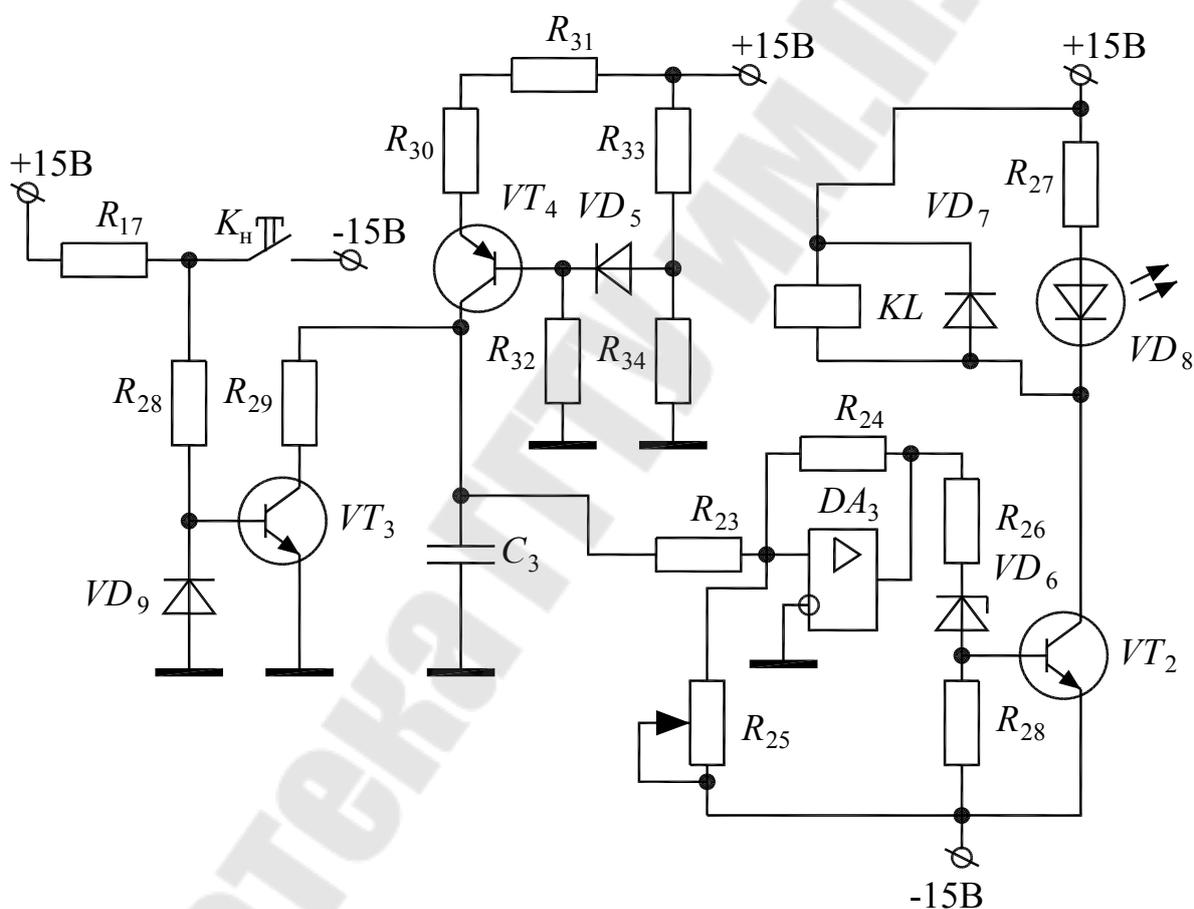


Рис. 3.2

На транзисторе  $VT_4$  и элементах  $R_{30} \dots R_{34}$ ,  $VD_5$  собран источник тока, нагрузкой для которого является конденсатор  $C_3$ . На транзисторе  $VT_3$  и элементах  $R_{17}$ ,  $R_{28}$ ,  $R_{29}$ ,  $VD_9$  собран электронный ключ. В нормальной ситуации транзистор  $VT_3$  открыт током от ис-

точника 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 нём нарастает по линейному закону. Это напряжение подаётся 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  $KL$ .

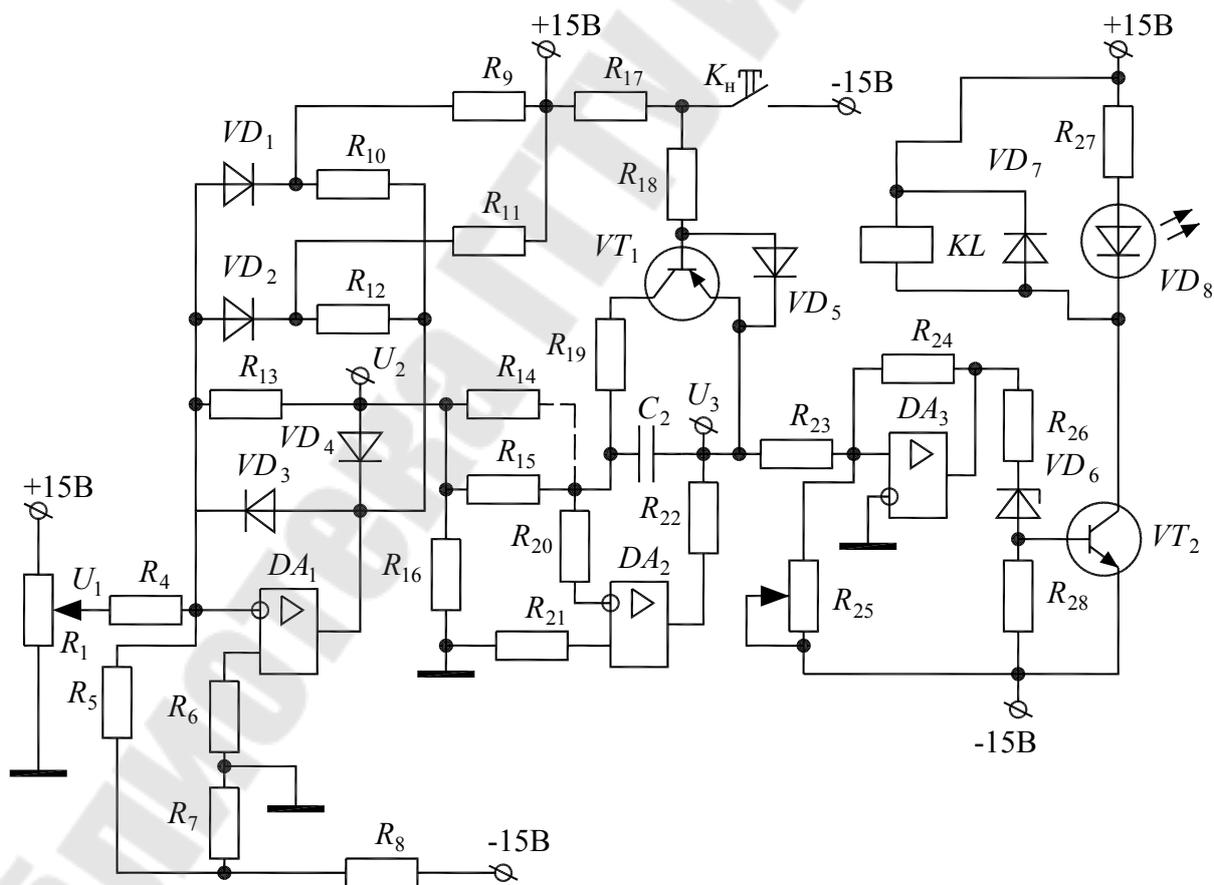


Рис. 3.3

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

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  $R_6, R_7, R_8$ .

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 растёт 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 уменьшается ещё.

На рис. 3.4 приведена передаточная характеристика функционального преобразователя. Она представляет собой кусочно-линейную аппроксимацию зеркально отображённой характеристики срабатывания реле времени (рис. 3.1).

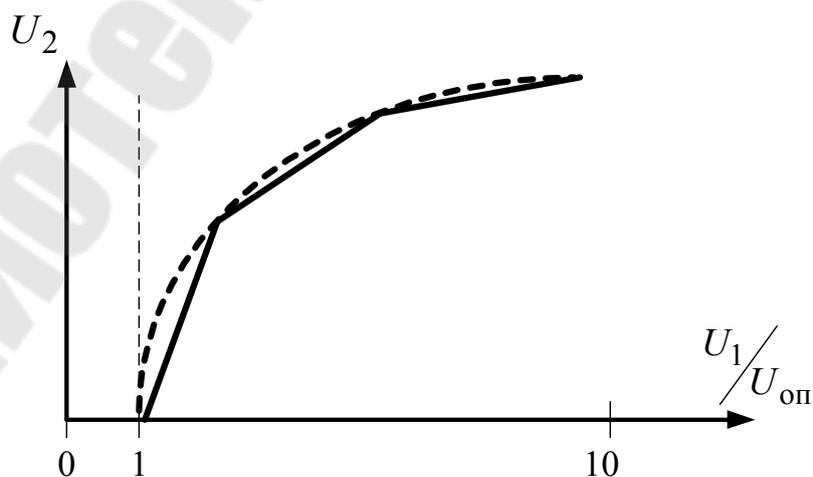


Рис. 3.4

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 подаётся 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 подаётся путём подключения специального разъёма. 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 отвёрткой.

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 и 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  $K_H$  и не отпуская её. Одновременно с моментом нажатия кнопки запустите секундомер.

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

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

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

8. Слегка измените положение резистора  $R_{25}$  и повторите п. 7.

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

10. Повторите пункты 4...8. Объясните полученные результаты.

11. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

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

13. Регулятор резистора  $R_1$  установите в крайнее левое положение. Подключите цифровой вольтметр к точке 4 и выходу функционального преобразователя (напряжение  $U_2$ ).

14. Подайте питание на стенд.

15. 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, то есть значение  $U_{\text{оп}}$ .

16. Медленно увеличивая входное напряжение, снимите экспериментальную передаточную характеристику функционального преобразователя, то есть зависимость  $U_2(U_1)$ , записав не менее 8 значений. Следите, чтобы напряжение  $U_2$  не достигло максимального значения -12 В. Постройте полученную характеристику и найдите на ней области излома (см. рис. 3.4).

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

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

приняв кратность  $\frac{U_1}{U_{\text{оп}}}$  от 1 до 10.

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

19. Сымитируйте срабатывание пускового органа, нажав и отпустив кнопку  $K_H$ .

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

21. Повторите п. 20 для трёх разных значений напряжения  $U_2$ .

22. Отключите питание от стенда.

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

24. Включите прибор Ф209 и подайте питание на стенд.

25. Нажмите кнопку «Сброс» на приборе Ф209.

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

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

28. Снимите зависимость времени срабатывания реле от входного напряжения  $U_1$  (не менее 8 значений).

29. Соедините перемычкой параллельно резисторы  $R_{14}$  и  $R_{15}$ .

30. Повторите п. 28. Объясните полученные результаты.

31. Отключите питание от стенда. Разберите схему.

### **Содержание отчёта**

Названия и чертежи всех исследуемых схем и результатов измерений и расчётов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы приводить на клетчатой бумаге с указанием осей и масштабов.

### **Контрольные вопросы**

1. Время-токовые характеристики срабатывания максимальных токовых защит.
2. Принципы работы органа выдержки времени с независимой характеристикой срабатывания.
3. Принципы работы органа выдержки времени с зависимой характеристикой срабатывания.
4. 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 между током и напряжением, подаваемых на его входные цепи. Этот фазовый сдвиг зависит от направления полной мощности в линии.

Угловая характеристика срабатывания реле направления мощности приведена на рис. 4.1.

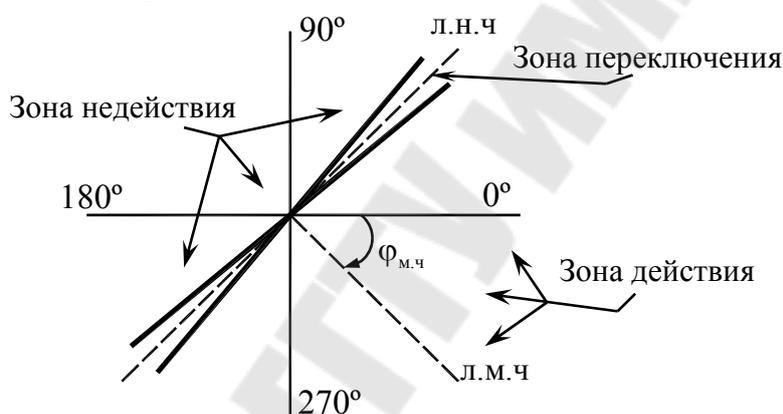


Рис. 4.1

Угловым диапазоном срабатывания и возврата реле направления мощности составляет  $180^\circ$ . Если полная мощность направлена от линии к шинам питания, то реле не действует, и его контакты разомкнуты. Если мощность направлена от шин в линию, то реле срабатывает, замыкая свои контакты. 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 (л.н.ч.). Линия, разбивающая пополам зону действия реле, называется линией максимальной чувствительности (л.м.ч.). Угол между этой линией и  $0^\circ$  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 входных напряжений одного знака, приведена на рис. 4.2.

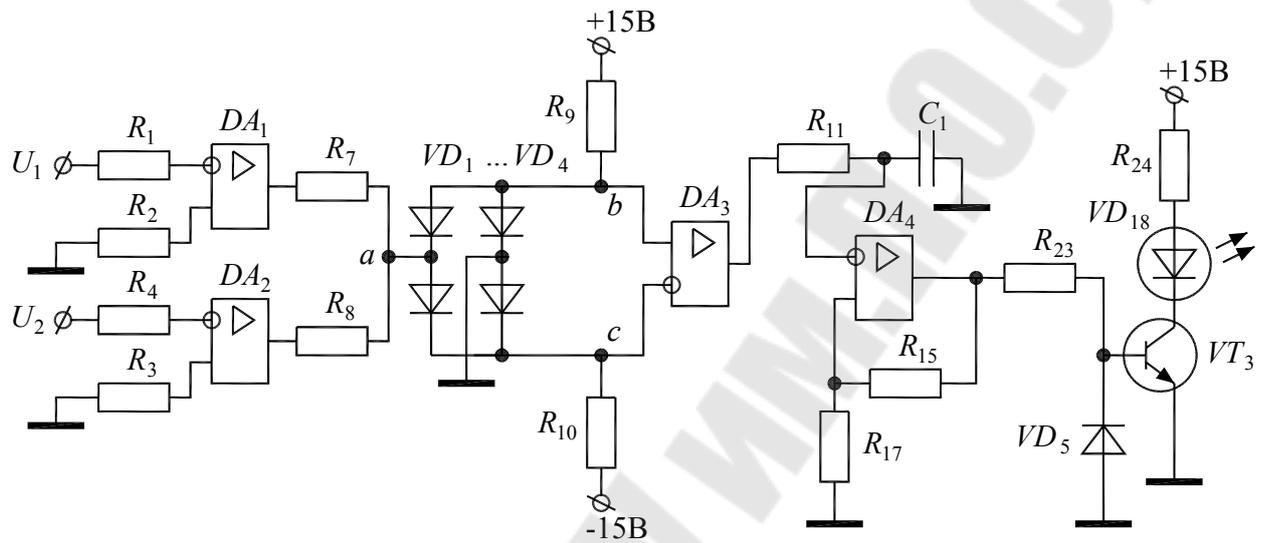


Рис. 4.2

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, выполненном на операционном усилителе  $DA_3$ , включенном по схеме компаратора, диодном мосте  $VD_1 \dots VD_4$ , 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 «c», 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  $R_{15}, R_{17}$ .

Триггер Шмитта переключается, если напряжение на конденсаторе  $C_1$  меняет знак, что соответствует фазовому сдвигу между напряжениями  $U_1$  и  $U_2$ , равному  $90^\circ$ . То есть в данной схеме линия нулевой чувствительности проходит через оси  $90^\circ$  и  $270^\circ$  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 - возврата.

Схема измерительного органа, реагирующая на совпадение входных напряжений противоположного знака, приведена на рис. 4.3. Она отличается от схемы рис. 4.2 блоком сравнения знаков, выполненном на операционном усилителе  $DA_3$ , включенном по схеме компаратора, диодном мосте  $VD_1 \dots VD_4$ , 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 «с», и на выходе компаратора  $DA_3$  появится напряжение насыщения положительного знака.

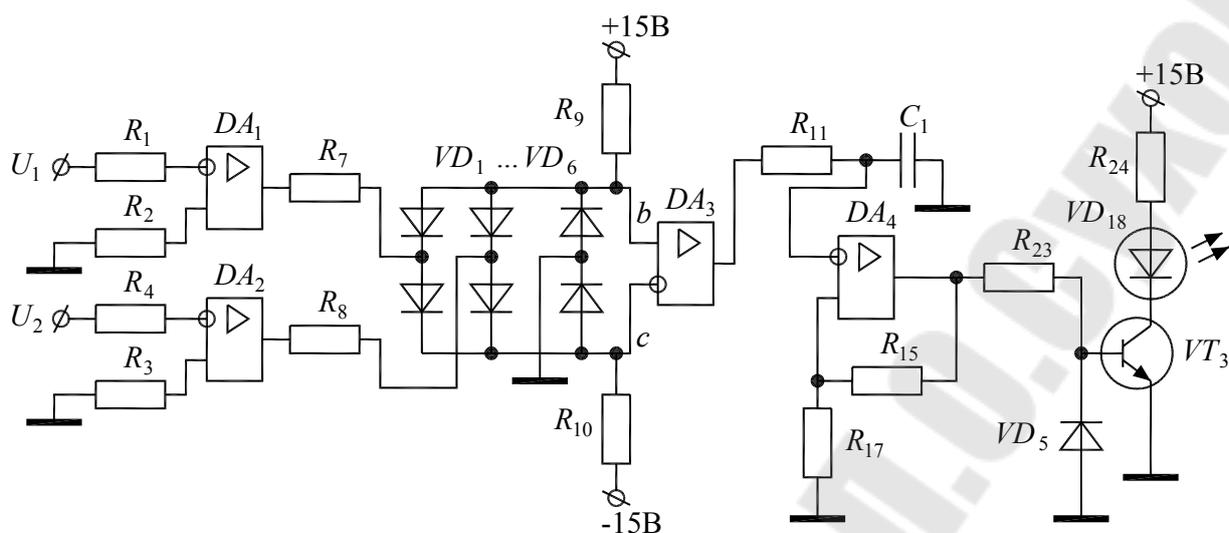


Рис. 4.3

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  $R_{20} \dots R_{21}, VD_{14}, VD_{15}$ .

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  $U_2$ .

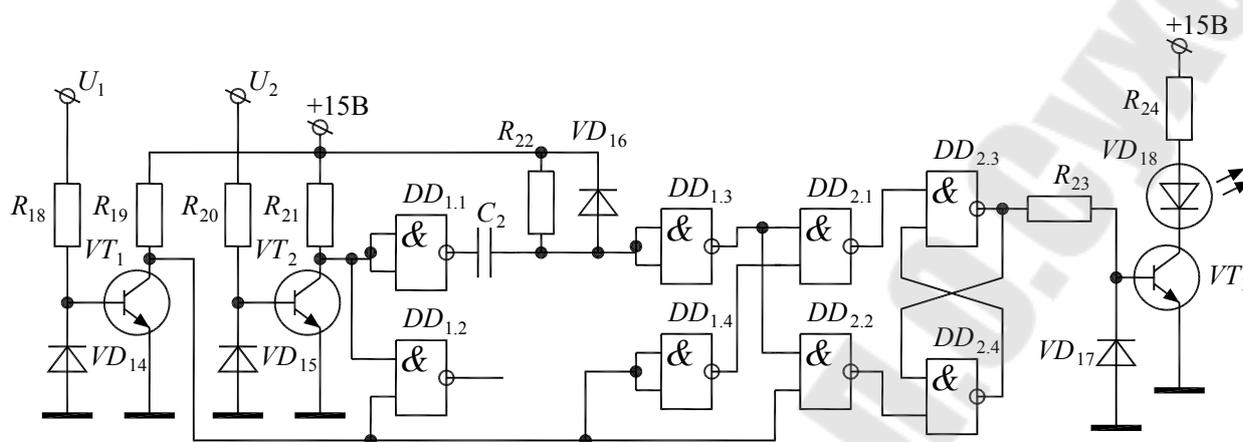


Рис. 4.4

Напряжение с выхода элемента  $DD_{2.3}$  через электронный ключ управляет светодиодом. В данной схеме линия нулевой чувствительности проходит через оси  $0^\circ$  и  $180^\circ$  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 подаётся путём подключения специального разъёма. 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 то же разъём, 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 и 17; 18 и 20; 23 и 25; 26 и 34; 27 и 33. При этом следует иметь в виду, что с обратной стороны жёстко соединены точки 5 и 6; 7 и 8; 10 и 11; 9 и 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  $0^\circ$ , 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  $0^\circ$  до  $340^\circ$  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, то есть 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 и 18; 21 и 22; 19 и 20; 23 и 25; 26 и 34; 27 и 33.

10. Подайте питание на стенд и повторите пункт 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 и 29; 3 и 30; 32 и 33.

13. Подайте питание на стенд и повторите пункт 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 отчёта**

Названия и чертежи всех исследуемых схем и результатов измерений и расчётов по ним, а также требуемые выводы. Осциллограммы приводить 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 на языке Ассемблер микропроцессора Intel 8080 (KP580BM80)

**Цель работы:** Изучить основные принципы функционирования микропроцессорных систем и программирования микропроцессоров.

#### 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 другие. Вместе с микропроцессором эти устройства составляют микропроцессорную систему. Подавляющее большинство современных сложных электронных устройств являются микропроцессорными системами: телевизоры, компьютеры, сотовые телефоны, и так далее.

**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 так далее. 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 поставлен в соответствие двоичный код команды микропроцессора. Для сокращённой 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)**

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

Пример перехода от десятичного кода к шестнадцатеричному коду показан на рис. 5.1. Буква h означает, что число записано в шестнадцатеричном коде.

```

BIN    1101 0101
DEC    13   5
HEX D   5
Ответ: D5h

```

Рис. 5.1

Список наиболее распространённых 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-ти разрядные регистровые пары: BC, DE и HL. Основным регистром, через который производится большинство операций, является регистр A. Его также называют аккумулятором. Регистровые пары могут использоваться для косвенной адресации. Например, команда MOV A,M оз-

начает: переместить в регистр A данные, адрес которых находится в регистровой паре HL.

Таблица 5.2

HEX	Команда	Операция	Комментарий
04	INR B	$(B) \leftarrow (B)+1$	Инкремент регистра B
05	DCR B	$(B) \leftarrow (B)-1$	Декремент регистра B
2F	CMA	$(A) \leftarrow (\bar{A})$	Инверсия регистра A
32	STA Adr	$((\text{Adr})) \leftarrow (A)$	Запись в ОЗУ
3A	LDA Adr	$(A) \leftarrow ((\text{Adr}))$	Чтение из ОЗУ
3C	INR A	$(A) \leftarrow (A)+1$	Инкремент регистра A
3D	DCR A	$(A) \leftarrow (A)-1$	Декремент регистра A
3E	MVI A,D8	$(A) \leftarrow D8$	Запись регистра A 8-ми разрядным числом
47	MOV B,A	$(B) \leftarrow (A)$	Перемещение данных
78	MOV A,B	$(A) \leftarrow (B)$	Перемещение данных
79	MOV A,C	$(A) \leftarrow (C)$	Перемещение данных
4F	MOV C,A	$(C) \leftarrow (A)$	Перемещение данных
80	ADD B	$(A) \leftarrow (A) + (B)$	Сложение данных
90	SUB B	$(A) \leftarrow (A) - (B)$	Вычитание данных
A0	ANA B	$(A) \leftarrow (A) \text{ AND } (B)$	Конъюнкция данных
B0	ORA B	$(A) \leftarrow (A) \text{ OR } (B)$	Дизъюнкция данных
B8	CMP B	$CY \leftarrow 1$ , если $(B) > (A)$	Сравнение данных
C2	JNZ Adr	Переход на Adr, если $Z=0$	Команда условного перехода
C3	JMP Adr	Безусловный переход на Adr	Команда безусловного перехода
C6	ADI D8	$(A) \leftarrow (A) + D8$	Сложение с 8-ми разрядным числом
C9	RET		Выход из подпрограммы
CA	JZ Adr	Переход на Adr, если $Z=1$	Команда условного перехода
CD	CALL Adr	Вызов подпрограммы по адресу Adr	
E6	ANI D8	$(A) \leftarrow (A) \text{ AND } D8$	Конъюнкция с 8-ми разрядным числом
F6	ORI D8	$(A) \leftarrow (A) \text{ OR } D8$	Дизъюнкция с 8-ми разрядным числом
D2	JNC Adr	Переход на Adr, если $CY=0$	Команда условного перехода
DA	JC Adr	Переход на Adr, если $CY=1$	Команда условного перехода
DE	SBI D8	$(A) \leftarrow (A) - D8$	Вычитание 8-ми 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 090Ah означает: перейти на адрес 090Ah, если результат предыдущей команды был больше нуля.

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

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

Таблица 5.4

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

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

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.

Таблица 5.5

## Программа увеличения числа в ячейке ОЗУ

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

11. Запишите программу № 3 в память УМК и протестируйте ее.
12. Проверьте правильность расчётов 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 5.6

## COMP – программа сравнения чисел в ячейках ОЗУ

Адрес HEX	Данные HEX	Метка	Команда	Комментарий
0800	3A 00 09	COMP:	LDA 0900	(A) $\leftarrow$ ((0900)) Чтение из ОЗУ первого числа
0803	47		MOV B,A	(B) $\leftarrow$ (A) Сохранение первого числа в регистре B
0804	3A 01 09		LDA 0901	(A) $\leftarrow$ ((0901)) Чтение из ОЗУ второго числа
0807	B8		CMP B	(A)>(B)? Сравнение чисел
0808	D2 0C 08		JNC MET	Переход на MET, если (A)>(B)
080B	78		MOV A,B	(A) $\leftarrow$ (B) Сохранение большего числа
080C	32 30 09	MET:	STA 0930	((0930)) $\leftarrow$ (A) Запись в ОЗУ
080F	C7		RST0	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 HEX	Данные HEX	Метка	Команда	Комментарий
0800	21 00 09	SUM:	LXI H,0900	(HL) $\leftarrow$ 0900. В регистровой паре HL – адрес первого слагаемого
0803	06 05		MVI B,05	(B) $\leftarrow$ 05. В регистре B - количество слагаемых (количество циклов)
0805	CD 10 08		CALL ADD8	Вызов подпрограммы ADD8
0808	32 30 09		STA 0930	((0930)) $\leftarrow$ (A). Запись в ОЗУ мл. байта результата
080B	79		MOV A,C	(A) $\leftarrow$ (C)
080C	32 31 09		STA 0931	((0931)) $\leftarrow$ (A). Запись в ОЗУ ст. байта результата
080F	C7		RST0	Выход
Подпрограмма ADD8:				
0810	AF	ADD8:	XRA A	(A) $\leftarrow$ 00. В регистре A - мл. байт результата
0811	4F		MOV C,A	(C) $\leftarrow$ 00. В регистре C - ст. байт результата
0812	86	CNT:	ADD M	(A) $\leftarrow$ (A) +((HL)). Сложение с числом из массива
0813	D2 <u>17 08</u>		JNC TRM	Переход на TRM, если не было переноса в 9-й разряд
0816	0C		INR C	(C) $\leftarrow$ (C)+1. Инкремент старшего байта результата
<u>0817</u>	23	TRM:	INX H	(HL) $\leftarrow$ (HL)+1. Переход с след. адресу массива
0818	05		DCR B	(B) $\leftarrow$ (B)-1. Декремент счетчика циклов
0819	C2 12 08		JNZ CNT	(B)=0? Цикл
081C	C9		RET	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 расчётов по заданным числам с помощью программы № 5.

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

## **Содержание отчёта**

Все исследуемые программы без столбцов «Адрес» и «Данные»; результаты тестирования программ; подробное описание всех расчётов, результаты проверки расчётов 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?

**Литература [3], [4], [5]**

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Микропроцессорные реле

**Цель работы:** ознакомиться с основными принципами работы микропроцессорных реле.

#### Краткие теоретические сведения

**Микропроцессорное реле** – это функциональный элемент микропроцессорной техники, способный выполнять функции классических реле: измерение требуемой физической величины, сравнение её значения с уставкой и выдача управляющего воздействия.

Микропроцессорное реле сочетает в себе элементы аппаратной и программной части микропроцессорной системы. Функции измерения и выдачи управляющего воздействия реализует аппаратная часть, а функцию сравнения с уставкой – программная часть. Значение уставки задаётся пользователем с внешней клавиатуры, либо дистанционно через интерфейс связи.

Микропроцессорное реле, в отличие от классических (электро-механических и микроэлектронных) реле, является многофункциональным. Так, например, оно способно одновременно выполнять функции реле тока, реле частоты и реле времени.

Структурная схема микропроцессорного реле приведена на рис. 6.1.

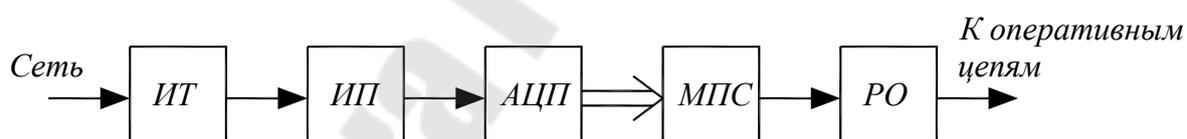


Рис. 6.1

Измеряемый параметр электрической сети (напряжение, ток или частота), через соответствующий измерительный трансформатор *ИТ* подаётся на вход вторичного измерительного преобразователя *ИП*, который формирует сигнал требуемого уровня. Этот сигнал поступает на аналоговый вход аналого-цифрового преобразователя *АЦП*, где преобразуется в двоичный код. Полученный двоичный код передаётся в микропроцессорную систему *МПС*, в памяти которой имеется требуемое программное обеспечение. Цифровой выход *МПС* воздействует на вход релейного органа *РО*, имеющего на выходе электро-

нический или электронный ключ, соединяемый с оперативными цепями РЗА.

В качестве АЦП, как правило, используют АЦП последовательных приближений, выполненный на основе ЦАП. Его структурная схема приведена на рис. 6.2.

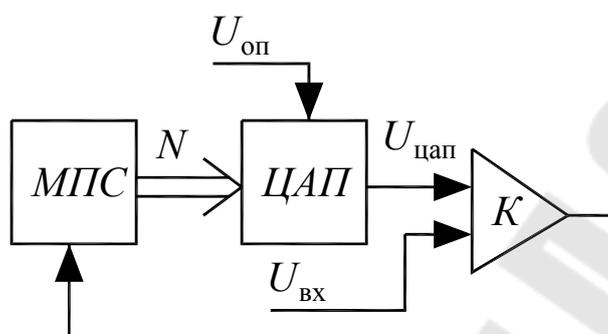


Рис. 6.2

Преобразование мгновенного значения входного аналогового напряжения  $U_{вх}$  в пропорциональный двоичный код  $N$  осуществляется за  $n$  тактов, где  $n$  – разрядность АЦП.

Вначале микропроцессорная система МПС выдаёт логическую единицу в старший разряд цифро-аналогового преобразователя ЦАП, а в остальные разряды – логические нули. На выходе ЦАП формируется аналоговое напряжение  $U_{цап}$ , которое сравнивается с входным напряжением с помощью компаратора  $K$ .

Если  $U_{цап} < U_{вх}$ , то на выходе компаратора появляется логический ноль, который передаётся и в МПС, где анализируется. В результате МПС оставляет в старшем разряде единицу и выдаёт логическую единицу в следующий разряд.

Если  $U_{цап} > U_{вх}$ , то на выходе компаратора появляется логическая единица. В этом случае МПС меняет в старшем разряде единицу на логический ноль и выдаёт логическую единицу в следующий разряд.

Далее процесс повторяется ещё  $n - 1$  раз. В результате на выходе ЦАП формируется напряжение  $U_{цап} \approx U_{вх}$ , а полученный на цифровых входах ЦАП двоичный код  $N$  записывается в память МПС. Этот код в десятичной системе счисления связан с входным напряжением соотношением:

$$N = \text{int} \left[ \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{оп}}} \cdot (2^n - 1) \right], \quad (6.1)$$

где:  $\text{int}$  – операция извлечения целой части без округления;  
 $U_{\text{оп}}$  – опорное напряжение для ЦАП.

### Описание лабораторной установки

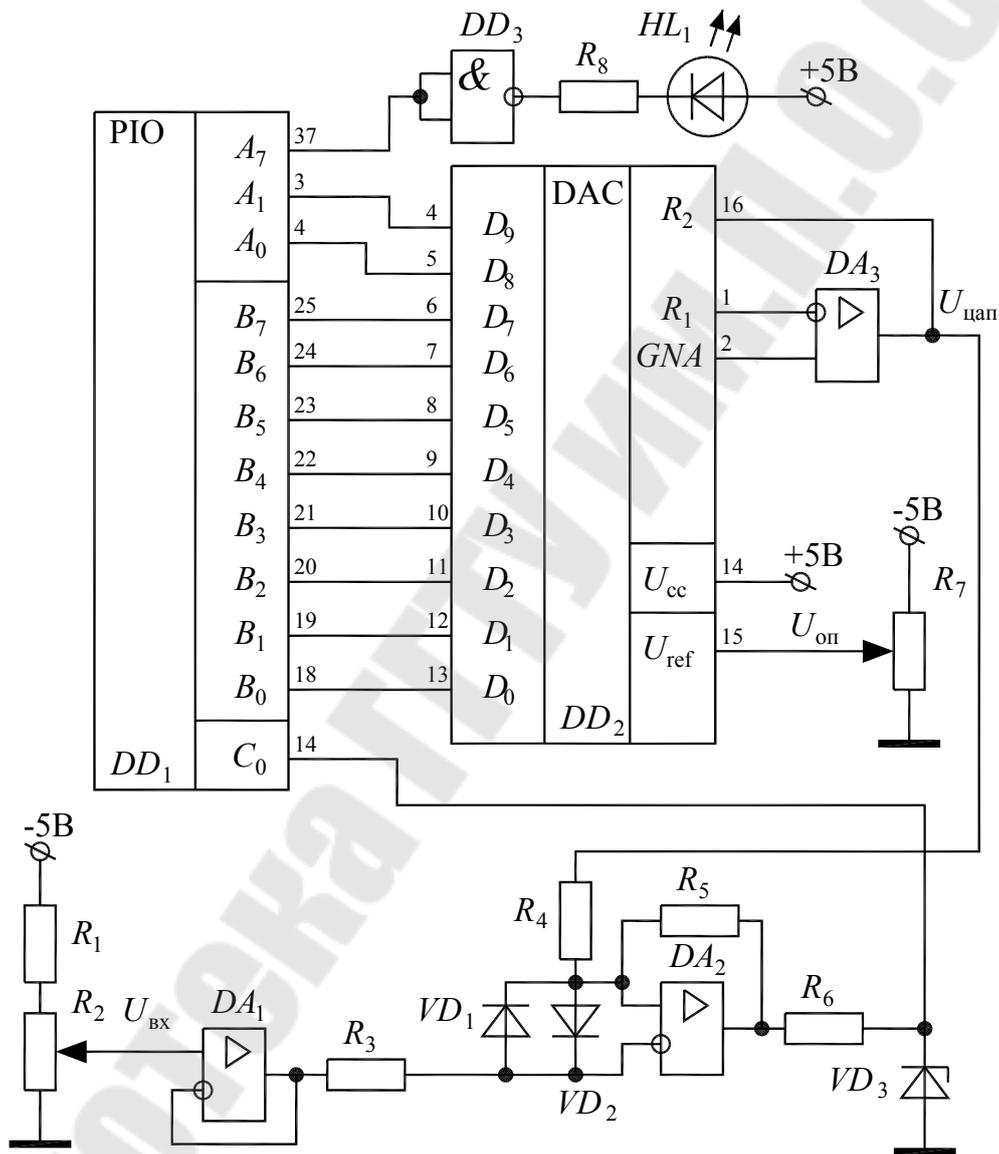


Рис. 6.3

Лабораторная установка состоит из учебного микропроцессорного комплекта (УМК) и дополнительной внешней платы, на которой размещены элементы исследуемого микропроцессорного реле.

Принципиальная схема исследуемого микропроцессорного реле построена на основе АЦП последовательных приближений и приведена на рис. 6.3.

Входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  формируется с помощью резистивного делителя  $R_1$ ,  $R_2$  и через повторитель напряжения, собранный на операционном усилителе  $DA_1$ , подаётся на инвертирующий вход триггера Шмитта. Регулятор переменного резистора  $R_2$  выведен наружу в верхней части стенда.

Триггер Шмитта реализован на операционном усилителе  $DA_1$  и элементах  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $VD_1$ ,  $VD_2$ , защищающих входы операционного усилителя от перенапряжений, и резисторе  $R_5$ , определяющем коэффициент возврата реле.

На неинвертирующий вход триггера Шмитта подаётся напряжение  $U_{\text{цап}}$  с выхода ЦАП, реализованного на микросхеме  $DD_2$  и операционном усилителе  $DA_3$ .

Выходной сигнал триггера Шмитта преобразуется к логическим уровням цифровых микросхем с помощью резистора  $R_6$ , стабилитрона  $VD_3$  и поступает на вход  $C_0$  порта ввода-вывода микропроцессорной системы  $DD_1$ .

На выходах  $B_0 \dots B_7$  и  $A_0$ ,  $A_1$  порта  $DD_1$  формируется десятиразрядный двоичный код, подаваемый на соответствующие входы ЦАП.

Опорное напряжение для ЦАП  $U_{\text{оп}}$  формируется с помощью переменного резистора  $R_7$ .

К выходу  $A_7$  порта  $DD_1$  через инвертор, выполненный на логическом элементе  $DD_3$ , и ограничительный резистор  $R_8$  подключен светодиод  $HL_1$ , выполняющий функцию сигнализации. Если реле сработало, то светодиод светится.

Для выполнения лабораторной работы дополнительно потребуется цифровой вольтметр.

Основная программа для микропроцессорного реле приведена в табл. 6.1. Эта программа использует три подпрограммы ADC, DELAY и RELAY, приведенные в табл. 6.2 ... 6.4.

## Основная программа

Адрес HEX	Данные HEX	Мет- ка	Команда	Комментарий
0800	3E 89		MVI A,89h	Настройка порта ввода-вывода
0802	D3 93		OUT RUW	
0804	16 00	LP3:	MVI D,00h	Число, выводимое в порт
0806	06 02		MVI B,02h	Число циклов при работе АЦП
0808	0E 02		MVI C,02h	Маска №1: 00000010
080A	1E FD		MVI E,FDh	Маска №2: 11111101
080C	3E 00		MVI A,00h	Вывод числа 00000000
080E	D3 91		OUT PORTB	в порт B
0810	7A	LP1:	MOV A,D	Наложение маски на число,
0811	B1		ORA C	выводимое в порт
0812	D3 90		OUT PORTA	Вывод старшего байта
0814	57		MOV D,A	
0815	CD 60 08		CALL ADC	Однократный запуск АЦП
0818	05		DCR B	Декремент счётчика циклов
0819	C2 10 08		JNZ LP1	Циклический возврат
081C	7A		MOV A,D	Вывод окончательного
081D	D3 90		OUT PORTA	значения старшего байта
081F	6A		MOV L,D	Сохранение старшего байта
0820	16 00		MVI D,00h	Число, выводимое в порт
0822	06 08		MVI B,08h	Число циклов при работе АЦП
0824	0E 80		MVI C,80h	Маска №1: 10000000
0826	1E 7F		MVI E,7Fh	Маска №2: 01111111
0828	7A	LP2:	MOV A,D	Наложение маски на число,
0829	B1		ORA C	выводимое в порт
082A	D3 91		OUT PORTB	Вывод младшего байта
082C	57		MOV D,A	
082D	CD 60 08		CALL ADC	Однократный запуск АЦП
0830	05		DCR B	Декремент счётчика циклов
0831	C2 28 08		JNZ LP2	Циклический возврат
0834	7A		MOV A,D	Вывод окончательного
0835	D3 91		OUT PORTB	значения младшего байта
0837	CD 90 08		CALL RELAY	Однократный пуск реле
083A	C3 04 08		JMP LP3	Бесконечный цикл

Таблица 6.2

## ADC – подпрограмма запуска АЦП

Адрес HEX	Данные HEX	Метка	Команда	Комментарий
0860	CD 80 08	ADC:	CALL DELAY	Пуск выдержки времени
0863	79		MOV A,C	Сдвиг вправо маски №1
0864	0F		RRC	
0865	4F		MOV C,A	
0866	DB 92		IN PORTC	Ввод данных из порта
0868	1F		RAR	Анализ сигнала с выхода триггера Шмитта
0869	D2 6F 08		JNC IFF	Переход на IFF, если $U_{\text{цап}} < U_{\text{вх}}$
086C	7A		MOV A,D	Сброс текущего бита в ноль
086D	A3		ANA E	если $U_{\text{цап}} > U_{\text{вх}}$
086E	57		MOV D,A	
086F	7B	IFF:	MOV A,E	Сдвиг вправо маски №2
0870	0F		RRC	
0871	5F		MOV E,A	
0872	C9		RET	Возврат

Таблица 6.3

## DELAY – подпрограмма выдержки времени на 5 мс

Адрес HEX	Данные HEX	Метка	Команда	Комментарий
0880	26 FF	DELAY:	MVI H,FFh	255 циклов
0882	00	LOOP:	NOP	
0883	25		DCR H	Декремент счётчика циклов
0884	C2 82 08		JNZ LOOP	Циклический возврат
0887	C9		RET	Возврат

Подпрограмма ADC реализует алгоритм работы АЦП последовательных приближений. Подпрограмма DELAY реализует выдержку времени на 5 мс. Подпрограмма RELAY реализует функцию сравнения двоичного кода напряжения, измеренного с помощью АЦП, с двоичным кодом уставки, старший байт которого находится по адресу 0900, а младший байт – по адресу 0901. Если значение напряжения превышает значение уставки, то подпрограмма RELAY выдаёт сигнал на включение светодиода, в противном случае – на его отключение.

**RELAY – подпрограмма работы реле**

Адрес HEX	Данные HEX	Метка	Команда	Комментарий
0890	3A 00 09	RELAY:	LDA 0900	Чтение старшего байта уставки
0893	BD		CMP L	Сравнение со старшим байтом кода АЦП
0894	DA A6 08		JC IF1	Переход на IF1, если старший байт уставки больше старшего байта кода АЦП
0897	3A 01 09		LDA 0901	Чтение младшего байта уставки
089A	BA		CMP D	Сравнение с младшим байтом кода АЦП
089B	DA A6 08		JC IF1	Переход на IF1, если младший байт уставки больше младшего байта кода АЦП
089E	7D		MOV A,L	Гашение светодиода
089F	E6 7F		ANI 7Fh	путём выдачи логического
08A1	D3 90		OUT PORTA	нуля в порт
08A3	C3 AB 08		JMP IF2	Переход на IF2
08A6	7D	IF1:	MOV A,L	Включение светодиода
08A7	F6 80		ORI 80h	путём выдачи логической
08A9	D3 90		OUT PORTA	единицы в порт
08AB	3E 80	IF2:	MVI A,80h	128 циклов
08AD	CD 80 08	WT:	CALL DELAY	задержек по 5 мс
08B0	3D		DCR A	Декремент счётчика циклов
08B1	C2 AD 08		JNZ WT	Циклический возврат
08B4	C9		RET	Возврат

**Внимание!** Лабораторную установку к работе должен подготовить преподаватель!

**Порядок выполнения работы**

1. Изучите программы, приведенные в табл. 6.1 ... 6.4. Продумайте, как они работают.
2. Повторите правила работы с УМК из лабораторной работы № 5.
3. Получите у преподавателя значение напряжения уставки от 0,8 до 2,7 В и переведите его в код АЦП по формуле (6.1), приняв  $U_{оп} = 3 \text{ В}$  и  $n = 10$ . С помощью калькулятора переведите результат в

шестнадцатеричный код. Запишите отдельно старший и младший байты. Это и будут соответствующие байты уставки для реле.

4. Включите УМК и запишите в его память все требуемые программы. Обратите внимание на расположение адресов.

5. Проверьте правильность введенных кодов.

6. Запишите по адресу 0900 старший байт уставки, а по адресу 0901 – младший байт уставки.

7. Запустите основную программу.

8. Медленно вращая регулятор переменного резистора  $R_2$  убедитесь по светодиоду, что реле срабатывает и возвращается. В состоянии срабатывания светодиод должен слегка мигать, что свидетельствует о непрерывной работе АЦП.

9. С помощью цифрового вольтметра измерьте напряжение срабатывания реле. Сравните это напряжение с напряжением уставки, рассчитав относительную погрешность.

10. Измерьте не менее 3 раз напряжения срабатывания и возврата реле. Найдите их средние значения.

11. Рассчитайте коэффициент возврата реле.

### **Содержание отчёта**

Схема стенда, все изученные программы без полей «адрес» и «данные», результаты расчётов и измерений, выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как работает микропроцессорное реле?
2. Как работает АЦП последовательных приближений?
3. По какой формуле рассчитывается двоичный код уставки микропроцессорного реле?
4. Как работает программное обеспечение микропроцессорного реле?

**Литература [3], [4], [5]**

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### Средства отображения информации

**Цель работы:** Изучить принципы работы простейших дисплеев с динамической индикацией в микропроцессорных системах.

#### Краткие теоретические сведения

Дисплей – это средство отображения информации, предназначенное для отображения цифр, букв, символов и более сложных графических элементов. Простейшими дисплеями являются знаковые дисплеи, состоящие из сегментных индикаторов. Конструкция и схема сегментного светодиодного индикатора АЛС-324Б показаны на рис. 7.1.

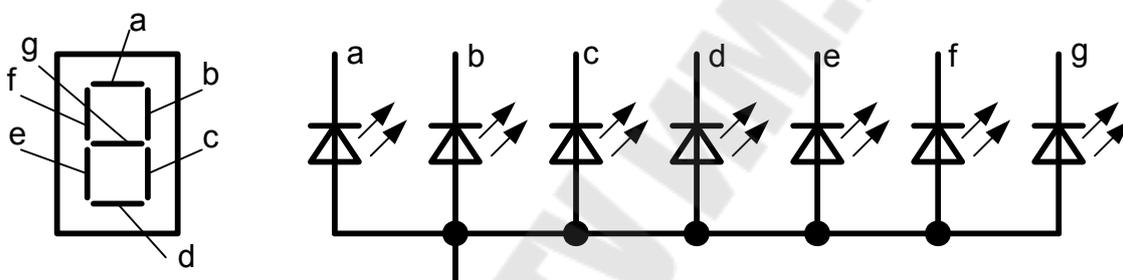


Рис. 7.1. Конструкция и схема сегментного индикатора АЛС-324Б

В таком индикаторе каждый отдельный сегмент – это светодиод. Все светодиоды соединены между собой анодами. На катоды подаются те логические уровни, которые требуются для отображения нужного символа. Например, чтобы отобразить единицу, необходимо пропускать прямой ток через светодиоды b и c.

Для вывода информации на дисплеи используют статическую или динамическую индикации. В случае статической индикации каждый элемент дисплея управляется по отдельной цепи. Недостаток такого способа индикации – значительное количество проводников и сложная схема для управления дисплеем.

В случае динамической индикации элементы дисплея включаются по отдельности с циклическим чередованием. Скорость переключения настолько высока, что человеческий глаз не воспринимает мерцаний, и изображение нам кажется неподвижным. На рис. 7.2 показан пример вывода числа 2009 на дисплей из четырёх индикаторов типа АЛС-324Б. Для того, чтобы такое изображение казалось неподвижным, необходимо повторять все четыре цикла с частотой не менее

50 Гц. При этом катоды соответствующих светодиодов каждого индикатора соединяются между собой, на них подаются логические уровни для требуемого изображения, а на аноды подается двоичный код типа «бегущая единица», то есть 1000, 0100, 0010, 0001, 1000, 0100, и так далее. В результате существенно сокращается количество проводов и упрощается схема управления в сравнении со статическим способом индикации.

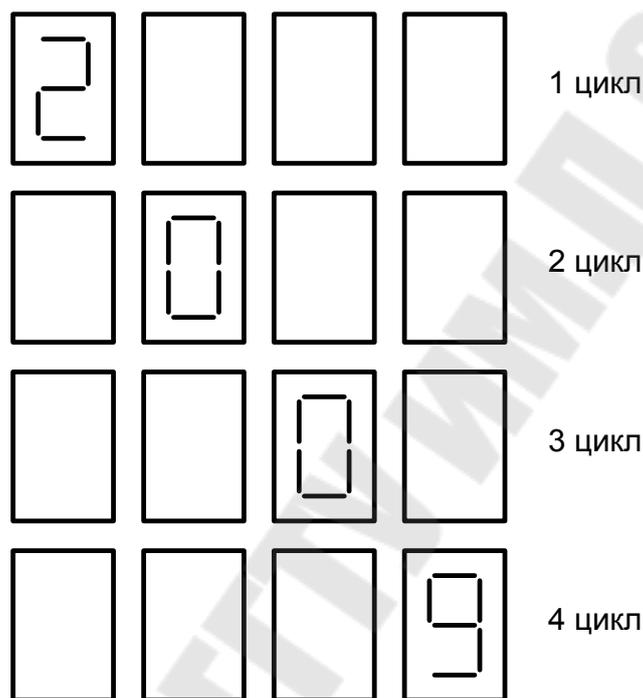


Рис. 7.2

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из учебного микропроцессорного комплекта (УМК) со специальной платой, на которой расположен дисплей из четырех индикаторов АЛС-324Б (найдите его). Схема, собранная на плате, приведена на рис. 7.3.

УМК управляет работой дисплея, реализованного на индикаторах НГ1-НГ4, через порт ввода-вывода DD1, в котором задействованы четыре линии порта А (А0-А3) и восемь линий порта В (В0-В7). Через порт А осуществляется переключение индикаторов путем вывода кода типа «бегущая единица», а через порт В выводятся требуемые символы. Все транзисторы в схеме применяются как электронные ключи и как усилители тока, а резисторы ограничивают значение тока через светодиоды и транзисторы.

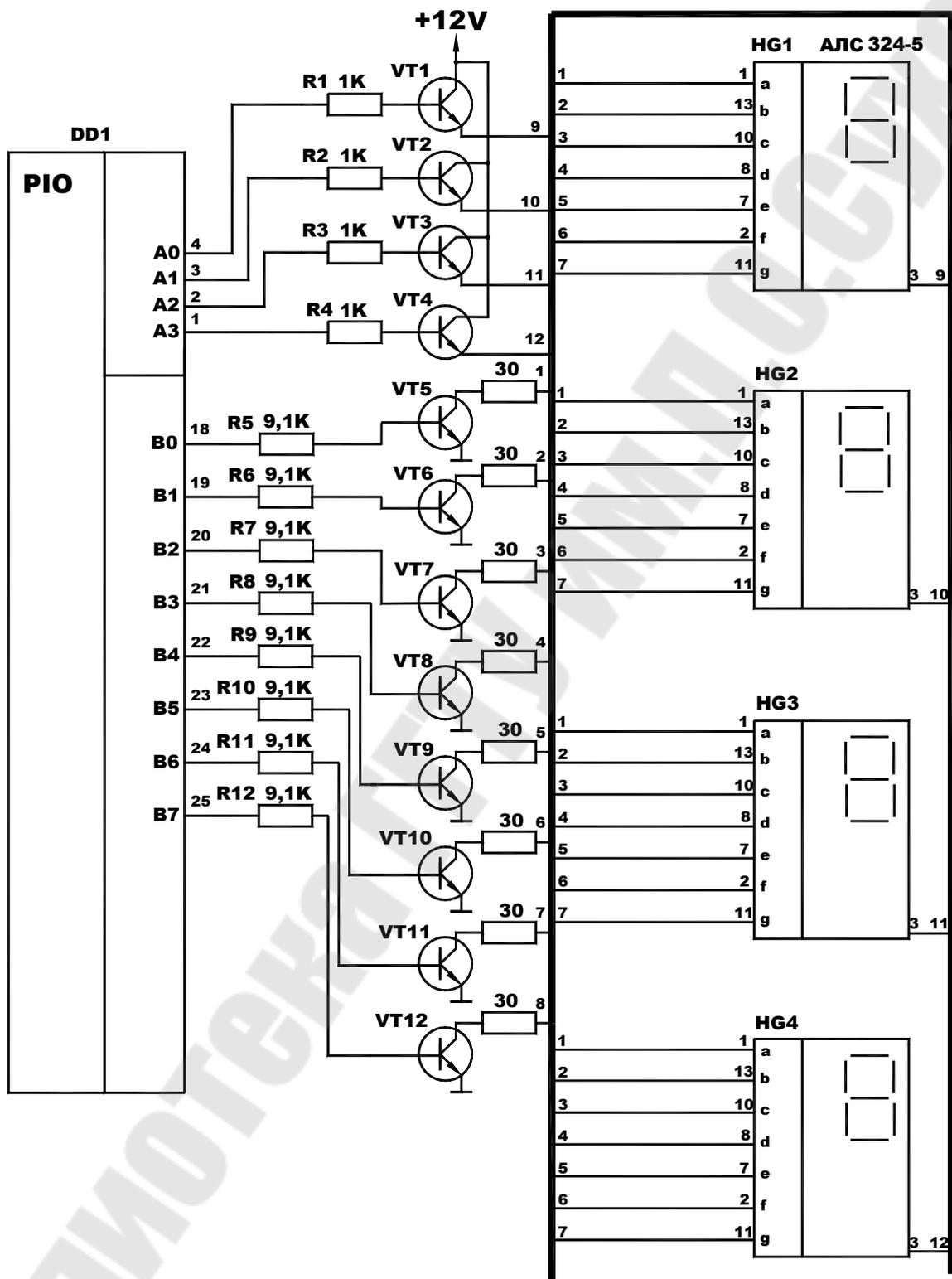


Рис. 7.3

Таблицу соответствия между двоичными кодами, выводимыми в порт, и соответствующими им символами называют кодировочной

таблицей. Кодировочная таблица для лабораторной установки приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Код	00111111	00000110	01011011	01001111	01100110	01101101
Символ	0	1	2	3	4	5
Код	01111101	00000111	01111111	01101111	01110111	01110001
Символ	6	7	8	9	A	F

Таблица 7.2

Адрес HEX	Код HEX	Метка	Операция	Комментарий
0800	3E 89		MVI A,89h	Загрузка управляющего кода порта
0802	D3 93		OUT RUW	Запись управляющего кода в порт
0804	21 00 09	DISP:	LHI H,0900h	Начальный адрес дисплейного ОЗУ
0807	06 04		MVI B,04h	Счетчик циклов (4 индикатора)
0809	0E 01		MVI C,01h	Код для «бегущей единицы»
080B	CD 20 08	LOOP:	CALL DELAY	Подпрограмма выдержки времени
080E	7E		MOV A,M	Чтение кода из дисплейного ОЗУ
080F	D3 91		OUT PORTB	Вывод символа на дисплей
0811	79		MOV A,C	Подготовка «бегущей единицы»
0812	D3 90		OUT PORTA	Включение текущего индикатора
0814	23		INX H	Переход к следующему символу
0815	07		RLC	Организация «бегущей единицы»
0816	4F		MOV C,A	
0817	05		DCR B	Декремент счетчика циклов
0818	C2 0B 08		JNZ LOOP	Организация цикла переключения индикаторов
081B	C3 04 08		JMP DISP	Бесконечный цикл
Подпрограмма выдержки времени				
0820	16 04	DELAY:	MVI D,04h	Число, задающее длительность выдержки времени
0822	1E FF	LP2:	MVI E,FFh	
0824	00	LP1:	NOP	
0825	1D		DCR E	Декремент счетчика циклов
0826	C2 24 08		JNZ LP1	Организация внутреннего цикла
0829	15		DCR D	Декремент счетчика циклов
082A	C2 22 08		JNZ LP2	Организация внешнего цикла
082D	C9		RET	Возврат

### Порядок выполнения работы

1. Введите в память УМК программу, приведенную в табл. 7.2.
2. Продумайте, как работает эта программа.

3. Введите в дисплейное ОЗУ, то есть по адресам 0900, 0901, 0902 и 0903, код 3Fh.

4. Запустите программу на выполнение и просмотрите результат на дисплее. Убедитесь, что выведены нули и изображение мерцает. Продумайте, почему наблюдается именно такой результат.

5. Выйдите из программы, нажав кнопку «СБ».

6. Уменьшите в два раза значение выдержки времени переключения индикаторов, задав в программе по адресу 0821 код 02h вместо 04h.

7. Запустите программу на выполнение и убедитесь, что изображение перестало мерцать.

8. Выйдите из программы, нажав кнопку «СБ».

9. Получите у преподавателя для каждого члена бригады символы, которые нужно отобразить на дисплее.

10. Переведите эти символы в соответствующие двоичные коды с помощью кодировочной таблицы (табл. 7.1) или самостоятельно, а затем переведите их в шестнадцатеричные коды и занесите в дисплейное ОЗУ.

11. Запустите программу и продемонстрируйте результат преподавателю.

### **Содержание отчёта**

Цель работы; словесное описание работы лабораторной установки и используемой в работе программы; результаты исследования работы дисплея; результаты расчётов по заданным символам; выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое дисплей, и какие виды дисплеев бывают?
2. Какие бывают способы вывода изображения на дисплей?
3. Чем знаковые дисплеи отличаются от матричных дисплеев?
4. Как работают светодиодные дисплеи?
5. Как работают жидкокристаллические дисплеи?
6. Каковы принципы получения цветного изображения на дисплеях?

**Литература [3], [4], [5]**

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### Пульт диспетчерского управления

**Цель работы:** Изучить принципы работы простейших дисплеев с динамической индикацией в микропроцессорных системах.

#### Краткие теоретические сведения

**Диспетчер** – это высший оперативный руководитель энергосистемы.

В обязанности диспетчера входит управление оперативными переключениями, регулирование напряжения и другие функции.

**Оперативные переговоры** – выдача распоряжений, разрешений, получение информации о выполнении распоряжений и разрешений, обмен информацией по текущей эксплуатации.

**Оперативный журнал** – документ, в котором записываются оперативные переговоры и все основные события по текущей эксплуатации с обязательным указанием даты и времени.

**Диспетчерский щит** – панель, на которой отображена схема электрической сети (мнемосхема).

**Диспетчерский пульт** – приборная панель рабочего места диспетчера.

**Оперативные переключения** – действия с коммутационными аппаратами электрической сети. К **сложным** относятся переключения, сопровождающиеся большим числом операций с разъединителями, выключателями, операциями в цепях РЗА. К **простым** относятся переключения, связанные с отдельными присоединениями: трансформаторами, линиями, и так далее. Сложные переключения должны выполняться двумя лицами, одно из которых – контролирующее. К **плановым** относятся переключения, выполняемые по разрешённым диспетчером заявкам на ввод или вывод оборудования по режимным сообщениям. К **внеплановым** относятся все текущие переключения, не предусмотренные заранее разрешённой диспетчерской заявкой. К **аварийным** относятся переключения, связанные с ликвидацией и локализацией аварии. Все плановые и внеплановые переключения в электроустановках напряжением выше 1000 В должны выполняться только по бланкам переключений. При ликвидации аварий не требуется заполнять бланки переключений. Осуществлённые операции с указанием времени их выполнения записываются в оперативный журнал после устранения аварии.

На рис. 10.1 показана форма типового бланка переключений.

Утверждаю Главный инженер предприятия электрических сетей _____ (подпись) «__» _____ 20__ г.	
Типовой бланк переключений № ___/___ Подстанция 110 кВ «Южная»	
Схема (описание схемы подстанции) Задание: «Отключить трансформатор Тб» Последовательность операций при переключении:	
1) операция 1; 2) операция 2; 3) .....	
Начальник службы подстанций предприятия электрических сетей _____ (подпись)	
Начальник службы РЗА _____ (подпись)	
Задание по данному типовому бланку переключений в указанной последовательности операций по состоянию схемы электрических соединений может быть выполнено.	
Лицо, производящее операции	(подпись)
Лицо, контролирующее операции	(подпись)
Начало операций	
Конец операций	
дата	

Рис. 10.1

В одном бланке переключений не допускается совмещать операции с коммутационными аппаратами с операциями по установке заземлений (эти операции входят в работу по подготовке рабочего места).

Порядок производства операций по бланку переключений на электроустановках с постоянным дежурным персоналом следующий:

1) диспетчер отдаёт распоряжение, в котором указывает конечную цель переключений, проверяет наличие контролирующего лица, отдаёт распоряжение («Отключите...», «Включите...»), подтверждает, что отданное им распоряжение понято правильно, и отдаёт команду «Правильно, выполняйте»;

2) дежурный, производящий переключения, критически осмысливает принятое распоряжение, повторяет распоряжение, записывает распоряжение в оперативный журнал, проверяет возможность выполнения предстоящих операций по режиму работы оборудования и составляет бланк переключений;

3) оба лица, участвующих в переключениях, проверяют по оперативной схеме правильность и последовательность записанных в бланке операций, и, если у них не возникло сомнений по намеченному порядку операций, подписывают бланк и приступают к выполнению задания;

4) на месте переключений персонал обязан внимательно проверить по надписям наименование присоединения и название аппарата, на котором предстоит проведение операций, и убедиться в правильности выбранного присоединения;

5) контролирующее лицо зачитывает содержание операции, подлежащей выполнению по бланку;

6) лицо, выполняющее операцию, повторяет содержание операции и, получив разрешение контролирующего лица, выполняет её;

7) после выполнения операции контролирующее лицо делает в бланке соответствующую отметку, чтобы исключить возможность пропуска какой-либо операции.

После выполнения всех пунктов бланк перечёркивается. Дежурный докладывает о выполнении задания лицу, выдавшему распоряжение. Затем делается запись в оперативном журнале с указанием номера бланка переключений и изменений в цепях РЗА.

Схема подключения линии к шинам подстанции приведена на рис. 10.2. В этом случае основными коммутационными аппаратами являются: шинный разъединитель  $QS_1$ , высоковольтный выключатель  $QF$  и линейный разъединитель  $QS_2$ .

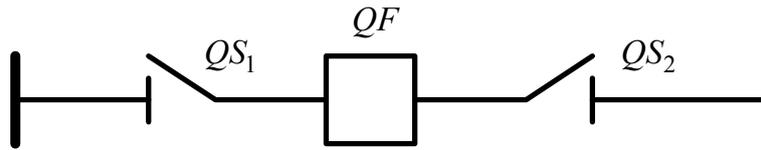


Рис. 10.2

При включении линии необходимо соблюдать следующий порядок операций с коммутационными аппаратами:

- 1) осмотреть присоединение и проверить отключенное положение выключателя;
- 2) включить шинные разъединители и проверить их включенное положение;
- 3) включить линейные разъединители и проверить их включенное положение;
- 4) включить высоковольтный выключатель и проверить по приборам наличие нагрузки или напряжения на присоединении.

Отключение линии выполняют в следующем порядке:

- 1) отключить высоковольтный выключатель и проверить его отключенное положение;
- 2) отключить линейные разъединители и проверить их отключенное положение;
- 3) отключить шинные разъединители и проверить их отключенное положение.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из макета диспетчерского щита и пульта диспетчерского управления в виде персонального компьютера (ПК). На диспетчерском щите изображена мнемосхема простейшей системы электроснабжения, состоящей из ТЭЦ и двух распределительных подстанций «Северная» и «Южная». Данная схема приведена на рис. 10.3 и представляет собой существенное упрощение реальных схем, так как в ней отсутствуют цепи параллельного резервирования, не выполняются условия по надёжности электроснабжения потребителей, отсутствуют разъединители, и другие важные элементы. Это упрощение введено для наглядности в учебных целях.

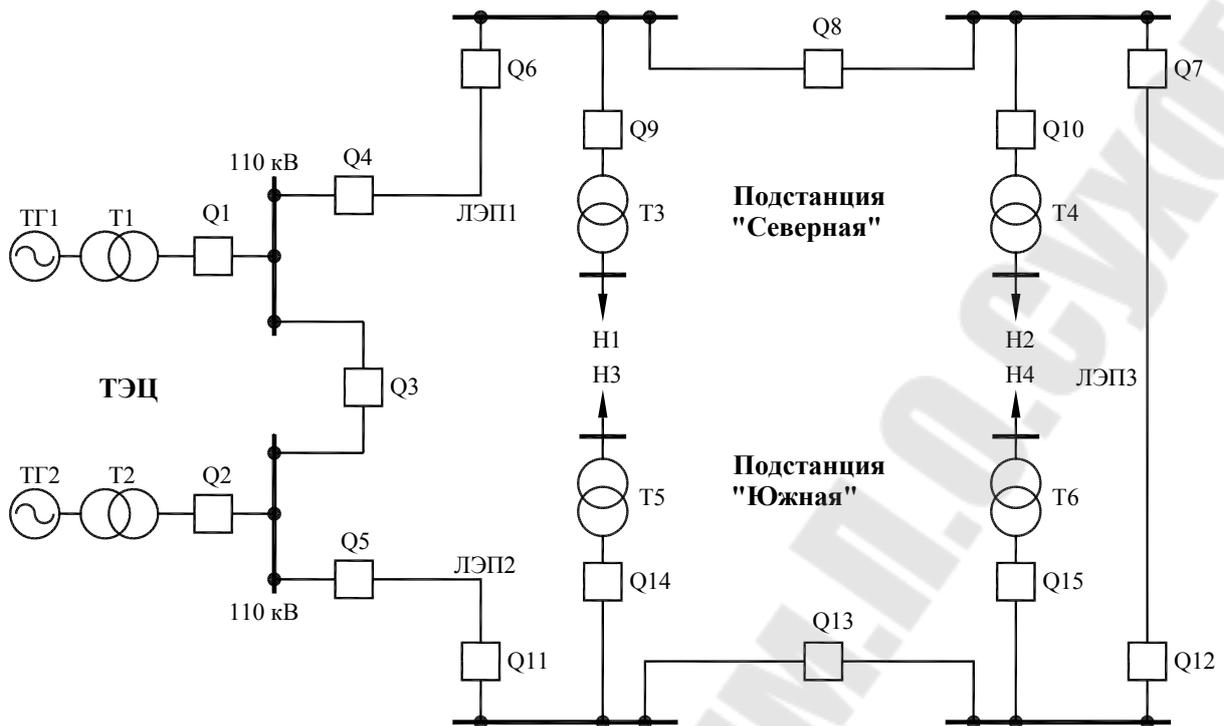


Рис. 10.3

Помимо мнемосхемы на щите имеются тумблеры, имитирующие реальное положение высоковольтных выключателей, то есть соответствующие сигналы телемеханики. Положение тумблера вверх означает включение выключателя, вниз – отключение. Внутри обозначений выключателей имеются светодиоды, которые отображают следующие виды информации:

- светодиод светится – выключатель включен;
- светодиод не светится – выключатель отключен;
- светодиод мигает – реальное положение выключателя не соответствует команде диспетчерского пульта.

Связь между щитом и диспетчерским пультом (ПК) осуществляется с помощью цифрового контроллера, прикреплённого к боковой части щита, посредством последовательного интерфейса RS-232.

Функции пульта диспетчерского управления в ПК реализует программа SupervisoryConsole, которая предназначена специально для лабораторной работы, но функционирует аналогично реальным программам, используемым в диспетчерских пунктах.

Программа SupervisoryConsole позволяет:

- осуществлять постоянный обмен данными с контроллером;
- отображать мнемосхему диспетчерского щита;

- вести расчёт установившегося режима электрической сети вне зависимости от её конфигурации (состояния выключателей);
- отображать модули и аргументы напряжений в узлах сети, а также значения активной и реактивной мощностей в узлах нагрузки;
- сигнализировать об отклонениях напряжения;
- изменять параметры силовых трансформаторов, ЛЭП и нагрузки;
- осуществлять оперативные переключения;
- моделировать случайные графики нагрузки в виртуальном времени.

Состояния выключателей программа SupervisoryConsole отображает следующим образом:

- красный цвет – выключатель отключен;
- зелёный цвет – выключатель включен;
- мигание - реальное положение выключателя не соответствует команде диспетчерского пульта.

Отклонения напряжения на нагрузке программа SupervisoryConsole отображает следующим образом:

- чёрный цвет шин нагрузки – напряжение в допустимых пределах ( $\pm 10\%$  от номинального значения 10 кВ);
- синий цвет шин нагрузки – напряжение превышает допустимый предел;
- красный цвет шин нагрузки – напряжение ниже допустимого предела;

Для ввода параметров трансформаторов необходимо нажать мышью на кольцо в обозначении трансформатора со стороны ВН. Для ввода параметров ЛЭП необходимо нажать мышью на обозначение соответствующей ЛЭП. Для ввода параметров нагрузки необходимо нажать мышью на обозначение шин соответствующей нагрузки.

Для изменения положения выключателя необходимо:

1. нажать мышью на обозначение требуемого выключателя;
2. прочитать текущее состояние выключателя и выбрать необходимое действие (как правило, если выключатель включен, то его отключают, или наоборот);
3. выдать требуемую команду на положение выключателя, предварительно нажав кнопку «у» (английская раскладка клавиатуры, нижний регистр), чтобы зафиксировать подвижную кнопку выдачи команды.

Все параметры схем замещения трансформаторов и ЛЭП программой не рассчитываются, поэтому вводятся пользователем вручную. Изменение положения РПН также осуществляется только вручную. Значения номинальных коэффициентов трансформации как для повышающих, так и для понижающих трансформаторов должны быть больше единицы, то есть:

$$K_{\text{тр.ном}} = \frac{U_{\text{ВН.ном}}}{U_{\text{НН.ном}}} . \quad (10.1)$$

Значения всех проводимостей должны быть только положительными.

При вводе параметров нагрузки пользователь задаёт значения активной и реактивной мощности, соответствующие расчётному полчасовому максимуму нагрузки при номинальном напряжении на шинах нагрузки. В процессе расчёта установившегося режима программа SupervisoryConsole отображает значения активной и реактивной мощности нагрузки, имитирующие реальную нагрузку, и, соответственно несколько отличающиеся от введенных пользователем значений.

Расчёты установившегося режима программа SupervisoryConsole осуществляет совместно с пакетом MATLAB, реализуя обмен данными через текстовые файлы. Алгоритмы расчёта по методам узловых потенциалов и обратной матрицы записаны в файле-сценарии CalcPowerGrid.m, исправления в котором не допустимы.

Для запуска пульта диспетчерского управления необходимо:

1. выбрать пункт меню НАСТРОЙКИ→СОМ ПОРТ и свободный СОМ-порт;
2. выбрать пункт меню КОНТРОЛЛЕР→УСТАНОВИТЬ СВЯЗЬ и убедиться в наличии связи с контроллеров;
3. выбрать пункт меню КОМАНДА→ПУСК ОБМЕНА ДАННЫМИ С КОНТРОЛЛЕРОМ.

Для остановки работы пульта диспетчерского управления необходимо выбрать пункт меню КОМАНДА→СТОП ОБМЕНА ДАННЫМИ С КОНТРОЛЛЕРОМ.

Для фиксации значения нагрузки необходимо выбрать пункт меню КОМАНДА→ФИКСИРОВАТЬ НАГРУЗКУ.

Для запуска случайного графика нагрузки необходимо выбрать пункт меню КОМАНДА→ПУСК СЛУЧАЙНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ. При этом будет запущен график нагрузки в виртуальном

времени, 0,5 часа в котором соответствует 4 секундам реального времени.

Для запуска расчёта установившегося режима необходимо:

1. Активизировать окно предварительно запущенного из MATLAB файла CalcPowerGrid.m.
2. Нажать F5, запустив расчёт MATLAB.
3. Убедиться в работе расчёта можно по появляющейся цифре «0» в командном окне MATLAB каждые 4 секунды.

**Внимание!** Перед началом работы необходимо убедиться, что тумблер включения питания контроллера, расположенный на его лицевой панели, находится в положении «Отключено».

## Порядок выполнения работы

### Занятие 1

1. Зарисуйте исходную оперативную схему в соответствии с табл. 10.1. и составьте её схему замещения, считая выключатели идеальными. Напряжение генераторов 13,8 кВ.
2. Рассчитайте параметры схемы замещения.
3. Введите параметры схемы замещения в программу Mustang и выполните расчёт установившегося режима.

**Внимание!** Поскольку все параметры **повышающих** трансформаторов приведены к стороне ВН, то при расчёте в Mustang напряжение генераторов принять равным номинальному напряжению соответствующих **повышающих** трансформаторов на стороне ВН, а их номинальный коэффициент трансформации равным **единице**.

4. Отрегулируйте напряжения в узлах нагрузки, изменяя коэффициенты трансформации силовых трансформаторов в соответствии с положениями ПБВ или РПН.
5. Запишите все полученные результаты
6. Составьте бланк переключений в соответствии с заявкой диспетчера (табл. 10.1), исходной схемой, рис. 10.1 и рис. 10.2. При необходимости включайте генераторы на параллельную работу.
7. Зарисуйте полученную оперативную схему и составьте её схему замещения.
8. Повторите пункты 2, 3, 4, 5.

Таблица вариантов

		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Исходная схема. Включены Q:		1, 4, 6, 9, 8, 10, 2, 5, 11, 14, 13, 15	1, 4, 6, 9, 2, 5, 11, 14, 13, 15, 12, 7, 10	1, 4, 6, 9, 8, 10, 7, 12, 15, 2, 5, 11, 14	1, 4, 6, 9, 8, 10, 2, 5, 11, 14, 13, 15
$P_n$ , МВт	H1	6,1	11,3	5,1	13,2
	H2	5,9	10,2	4,7	11,7
	H3	8,6	4,9	9,4	7,4
	H4	8,2	3,7	8,9	7,1
$Q_n$ , Мвар	H1	1,4	2,2	0,47	1,2
	H2	0,9	1,4	0,68	1,3
	H3	1,9	0,65	1,5	0,85
	H4	1,6	0,53	1,6	0,76
T1	ТДЦ 80000/110	ТДЦ 80000/110	ТДЦ 125000/110	ТДЦ 125000/110	
T2	ТДЦ 80000/110	ТДЦ 125000/110	ТДЦ 80000/110	ТДЦ 125000/110	
T3	ТДН 10000/110	ТДН 16000/110	ТМН 6300/110	ТДН 16000/110	
T4	ТДН 10000/110	ТДН 16000/110	ТМН 6300/110	ТДН 16000/110	
T5	ТДН 16000/110	ТМН 6300/110	ТДН 16000/110	ТДН 10000/110	
T6	ТДН 16000/110	ТМН 6300/110	ТДН 16000/110	ТДН 10000/110	
ЛЭП1	АС-120 21 км	АС-150 38 км	АС-95 19 км	АС-185 26 км	
ЛЭП2	АС-120 24 км	АС-150 27 км	АС-95 26 км	АС-185 16 км	
ЛЭП3	АС-95 34 км	АС-120 46 км	АС-70 31 км	АС-150 39 км	
Заявка диспетчера	Вывести в ремонт ЛЭП1	Вывести в ремонт ЛЭП3	Вывести в ремонт ЛЭП2	Вывести в ремонт Q13	

## Занятие 2

1. Внимательно прочтите описание лабораторной установки.
2. Включите ПК, загрузите программу MATLAB, а затем из неё откройте файл f:\SupCon\CalcPowerGrid.m.

**Внимание!** Ничего не исправляйте в этом файле.

3. Загрузите программу SupervisoryConsole.
4. Включите питание контроллера вначале с помощью шнура, а затем тумблера. При этом все светодиоды на щите должны мигать. Отсутствие мигания какого-либо из светодиодов свидетельствует о наличии неисправности.
5. Установите тумблеры на диспетчерском щите таким образом, чтобы положения выключателей соответствовали исходной схеме по варианту задания.

6. Запустите пульт диспетчерского управления (см. описание лабораторной установки).

7. Установите соответствие между командами пульта и реальными положениями выключателей (см. описание лабораторной установки). Мигание всех индикаторов на щите и пульте должно прекратиться.

8. Введите требуемые по варианту задания параметры трансформаторов, ЛЭП и нагрузки. Коэффициенты трансформации для трансформаторов с РПН вводите номинальные, а положения РПН установите в соответствии с результатами п. 4 занятия №1. Положения ПБВ соответствующих трансформаторов учтите непосредственно в коэффициенте трансформации.

9. Запустите расчёт установившегося режима (см. описание лабораторной установки).

10. Убедитесь, что расчётные значения напряжений и мощностей отображаются в окне пульта, предварительно выждав не менее 5 секунд. Запишите эти значения и сравните их со значениями, полученными при расчёте в Mustang.

11. Произведите на щите необходимые переключения в соответствии с бланком переключений (только действия с выключателями).

12. Повторите п.7.

13. Внесите необходимые корректировки положений РПН в соответствии с результатами, полученными в занятии №1.

14. Повторите п.10.

15. Составьте оперативный журнал (в произвольной форме) и занесите туда требуемую информацию.

16. Запустите случайный график нагрузки. Убедитесь, что расчётные значения напряжений и мощностей отображаются в окне пульта, изменяясь каждые 4 секунды.

17. Пронаблюдайте за значениями напряжений в узлах нагрузки в течение нескольких минут. Фиксируйте их значения при отклонении от номинальных. Если такие факты обнаружены, рассчитайте, а затем произведите дополнительные корректировки положений РПН. Занесите эти изменения в оперативный журнал.

18. Для узла нагрузки, заданного преподавателем, запишите по порядку 48 значений напряжения и мощностей, что соответствует точному графику нагрузки в виртуальном времени. Постройте соответствующие графики.

19. Остановите работу диспетчерского пульта (см. описание лабораторной установки).

20. Отключите питание цифрового контроллера вначале тумблером, а затем из сети.

### **Содержание отчёта**

Титульный лист, цель работы, оперативные схемы (2 шт.) и их схемы замещения (2 шт.), расчёты параметров схем замещения, результаты расчётов в Mustang (переписать вручную), бланк переключений, оперативный журнал, результаты по работе с диспетчерским пультом.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы функции диспетчера электрических сетей?
2. Что такое оперативные переговоры? Приведите примеры.
3. Что такое оперативные переключения? Приведите примеры.
4. Что такое бланк переключений и оперативный журнал?
5. Для чего нужны диспетчерский щит и диспетчерский пульт?

### **Литература [6]**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко Е.В. Функциональные элементы релейных устройств на интегральных микросхемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
2. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. Пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
3. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники: Курс лекций. – 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., Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
6. Калентионок, Е.В. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. пособие / Е.В. Калентионок, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин. – Минск : Высш. шк., 2007. – 351 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 «Исследование измерительных органов микроэлектронных реле тока и напряжения» .....	3
Лабораторная работа № 2 «Исследование функциональных элементов микроэлектронных реле» .....	10
Лабораторная работа № 3 «Исследование органов выдержки времени с независимыми и зависимыми характеристиками срабатывания» .....	18
Лабораторная работа № 4 «Исследование измерительных органов реле направления мощности» .....	26
Лабораторная работа № 5 «Принципы программирования на языке Ассемблер микропроцессора Intel 8080 (КР580ВМ80)»	33
Лабораторная работа № 6 «Микропроцессорные реле» .....	41
Лабораторная работа № 7 «Средства отображения информации» .....	49
Лабораторная работа № 10 «Пульт диспетчерского управления» .....	54
Литература .....	65

**Зализный Дмитрий Иванович  
Курганов Владимир Васильевич**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-43 01 02  
«Электроэнергетические системы и сети»  
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 25.05.11.

Пер. № 5Е.  
E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)  
<http://www.gstu.by>