

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ, АВТОМАТИКИ И МЕТРОЛОГИИ

# «Автоматика»

Учебное пособие



Для студентов очной и заочной  
форм обучения, по направлениям:  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,  
профиль – «Электроснабжение»  
35.03.06 «Агроинженерия»,  
профиль – «Электрооборудование и электротехнологии  
в сельском хозяйстве»

Ставрополь  
2019

### **Учебное пособие.**

Даны методические рекомендации для изучения теоретического материала и проведения лабораторных работ студентов очной и заочной форм обучения, по направлениям:

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль – «Электро-снабжение»;

35.03.06 «Агроинженерия», профиль – «Электрооборудование и электро-технологии в сельском хозяйстве».

### **Авторский коллектив**

Минаев И. Г., профессор кафедры ЭАиМ,  
Аникуев С. В., доцент кафедры ЭАиМ,  
Самойленко В. В., доцент кафедры ЭАиМ,  
Шарипов И. К., доцент кафедры ЭАиМ,  
Шемякин В. Н., доцент кафедры ЭиЭЭО,  
Мишуков С. В., ассистент кафедры ЭАиМ.

### **Рецензенты**

Воротников И. Н., заведующий кафедрой ЭАиМ,  
Антонов С. Н., доцент кафедры ПЭЭСХ.

# Лабораторная работа № 1

## Применение модуля ввода аналогового ОВЕН МВА8 в системах контроля и управления технологическими процессами

### 1.1 Цель работы:

- ознакомиться с руководством по эксплуатации модуля МВА8 (см. приложение 1);
- освоить меры безопасности при работе с прибором;
- освоить подключение модуля к ПК через адаптер ОВЕН АС-4;
- ознакомиться с подключением датчиков к универсальным входам;
- освоить конфигурирование модуля на ПК;
- освоить работу модуля в сети.

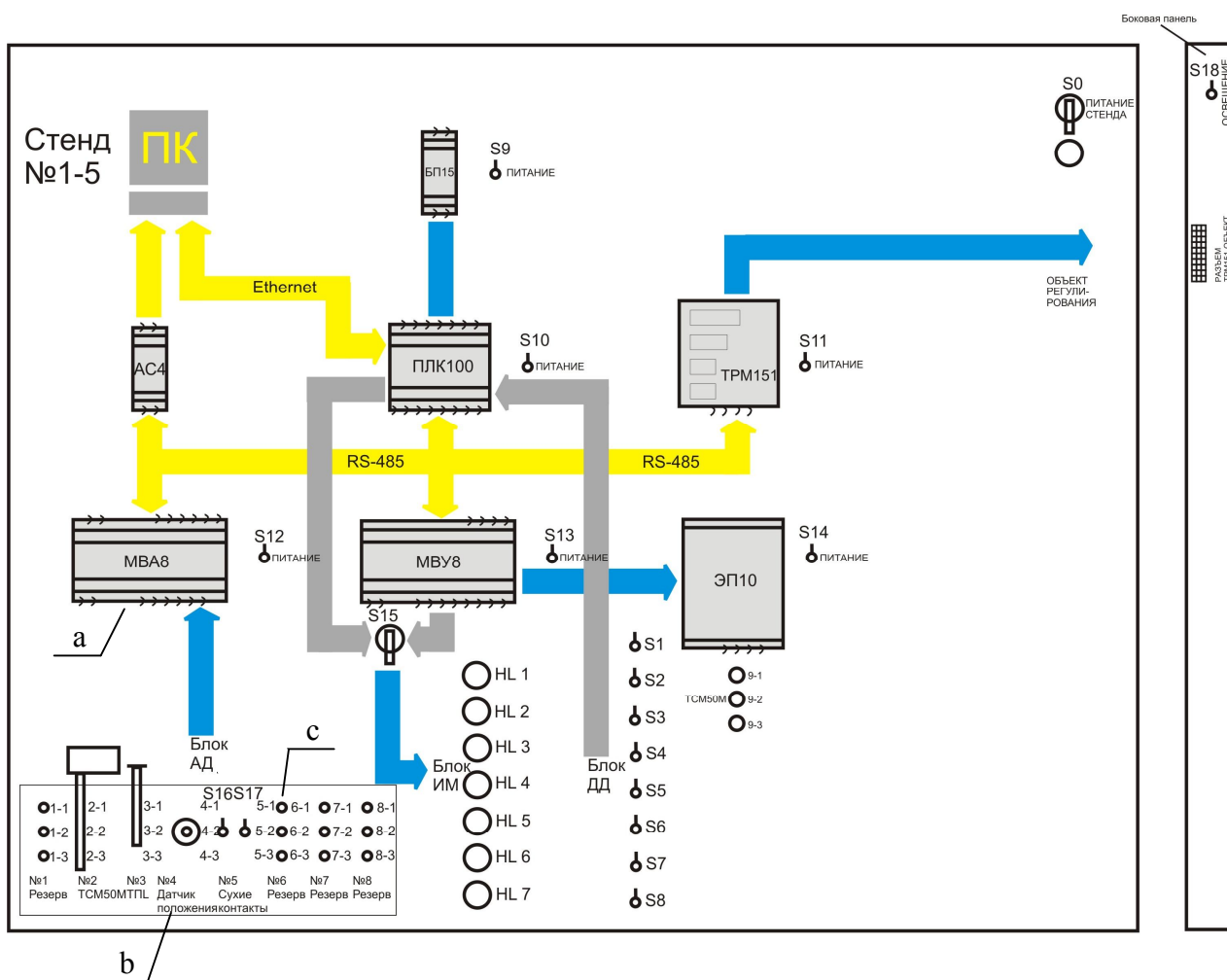


Рисунок 1.1 – Вид лицевой панели лабораторного стенда:  
 а-модуль МВА8; б-блок аналоговых датчиков и их имитаторов;  
 в-дублирующие зажимы входных клемм МВА8.

## 1.2 Краткое описание модуля

### Модуль ввода аналоговый ОВЕН MBA8

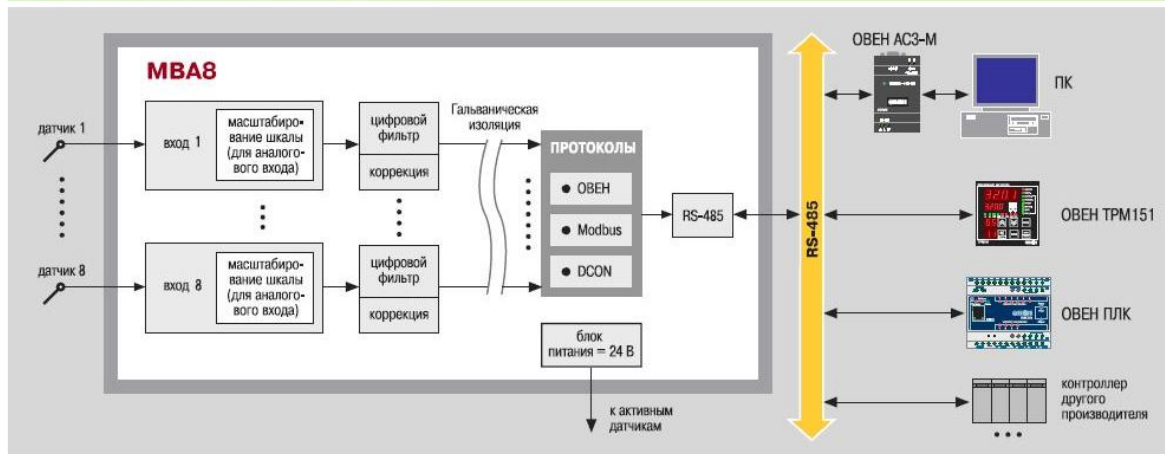


- **ВОСЕМЬ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВХОДОВ** для подключения широкого спектра датчиков температуры, давления, влажности, расхода, уровня и других физических величин
- **ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И КОРРЕКЦИЯ** входных сигналов, масштабирование показаний датчиков с унифицированным выходным сигналом (активных датчиков)
- **ПЕРЕДАЧА ИЗМЕРЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПО ИНТЕРФЕЙСУ RS-485**
- **ПОДДЕРЖКА РАСПРОСТРАНЕННЫХ ПРОТОКОЛОВ** Modbus (ASCII, RTU), DCON, OVEN
- **ПРОГРАММА «КОНФИГУРАТОР MBA8»:**
  - конфигурирование прибора на ПК;
  - регистрация текущих измерений
- **ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ** благодаря импульсному источнику питания 90...264 В частотой 47...63 Гц

Восьмиканальный универсальный измерительный модуль для распределенных систем управления в сети RS-485. Может использоваться в качестве модуля расширения входов для программируемых контроллеров (ОВЕН ПЛК или др.), приборов ОВЕН ТРМ151, ТРМ148 и т.д.

*MBA8 работает в сети RS-485 при наличии в ней «мастера», при этом сам MBA8 не является «мастером» сети.*

#### Функциональная схема прибора



#### Интерфейс RS-485

В MBA8 установлен модуль интерфейса RS-485, позволяющий:

- ▶ конфигурировать прибор на ПК (программа-конфигуратор предоставляется бесплатно);
- ▶ передавать в сеть текущие значения измеренных величин, а также любых программируемых параметров.

MBA8 может работать в сети только при наличии в ней «мастера». «Мастером» сети RS-485 может быть персональный компьютер, программируемый контроллер, например ОВЕН ПЛК, прибор ОВЕН ТРМ151 и др.

Подключение MBA8 к ПК производится через адаптер ОВЕН АС3-М или АС4.

#### Поддержка протоколов ОВЕН, Modbus, DCON

Для сетевого обмена с MBA8 пользователь может выбрать один из четырех протоколов: ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII или DCON. Конфигурирование MBA8 осуществляется по протоколу ОВЕН.

Поддержка распространенных протоколов Modbus и DCON позволяет MBA8 работать в одной сети с контроллерами и модулями как фирмы ОВЕН, так и других производителей.

#### Интеграция в АСУ ТП

При интеграции MBA8 в АСУ ТП в качестве программного обеспечения можно использовать SCADA-систему Owen Process Manager (см. раздел VII) или какую-либо другую программу.

Компания ОВЕН бесплатно предоставляет для MBA8:

- ▶ драйвер для Trace Mode;
- ▶ OPC-сервер для подключения прибора к любой SCADA-системе или другой программе, поддерживающей OPC-технологии;
- ▶ библиотеки WIN DLL для быстрого написания драйверов.

## Универсальные входы

Модуль оснащен восемью универсальными входами, к которым в произвольной комбинации могут быть подключены любые из следующих первичных преобразователей (датчиков):

- ▶ термопреобразователи сопротивления медные и платиновые ТСМ/ТСП 50, 100, 500, 1000 Ом, никелевые ТСН 100, 500, 1000 Ом;
- ▶ термопары ТХК(Л), ТХА(К), ТНН(Н), ТЖК(Ж), ТПП(Р), ТПП(С), ТПР(В), ТВР(А-1), ТВР(А-2), ТВР(А-3), ТМК(Т);
- ▶ активные датчики с унифицированным выходным сигналом тока 0...5 мА, 0(4)...20 мА или напряжения -50...+50 мВ, 0...1 В;

▶ элементы и устройства, имеющие «сухой» контакт (к каждому входу можно подключить два таких устройства);

а также датчики положения задвижек с резистивным или токовым выходом.

## Цифровые фильтры

Модуль имеет восемь цифровых фильтров, работающих независимо друг от друга и предназначенных для подавления внешних помех. Параметры цифровых фильтров задаются при программировании модуля.

## Блок питания

Модуль оснащен импульсным блоком питания (БП). В состав БП входит дополнительный источник постоянного тока, гальванически изолированный от остальных элементов схемы и предназначенный для питания активных датчиков.

## Технические характеристики

Питание	
Напряжение питания	90...264 В перем. тока частотой 47...63 Гц
Потребляемая мощность	не более 6 ВА
Входы	
Количество входов	8
Минимальное время опроса одного входа	0,3 с
Минимальное время опроса восьми входов	2 с
Напряжение источника питания активных датчиков	24 ± 3 В пост. тока
Максимальный ток нагрузки источника питания активных датчиков	180 мА
Входное сопротивление при измерении	
– напряжения	> 100 кОм
– тока (внешний резистор)	100 Ом ± 0,1 %
Макс. напряжение перегрузки на входе	15 В
Интерфейс	
Тип интерфейса	RS-485
Скорость передачи данных, кбит/с	2,4, 4,8, 9,6, 14,4, 19,2, 28,8, 38,4, 57,6, 115,2
Максимальная длина линии связи	1000 м
Протоколы передачи данных	ОВЕН; Modbus-ASCII; Modbus-RTU; DCON
Максимальное количество модулей в сети	
– при длине сетевого адреса 8 бит	32
– при длине сетевого адреса 11 бит	256
Процессор	
Встроенный процессор	ATMega 128
Таймер	Сторожевой
Гальваническая изоляция	
Допустимое напряжение изоляции между входами и линией интерфейса	1500 В
Корпус	
Тип корпуса	на DIN-рейку Д9
Габаритные размеры корпуса	157x86x58 мм
Степень защиты корпуса	IP20

Условия эксплуатации	
Температура окружающего воздуха	+1...+50 °С
Атмосферное давление	86...106,7 кПа
Отн. влажность воздуха (при +25 °С и ниже б/конд. влаги)	не более 80 %

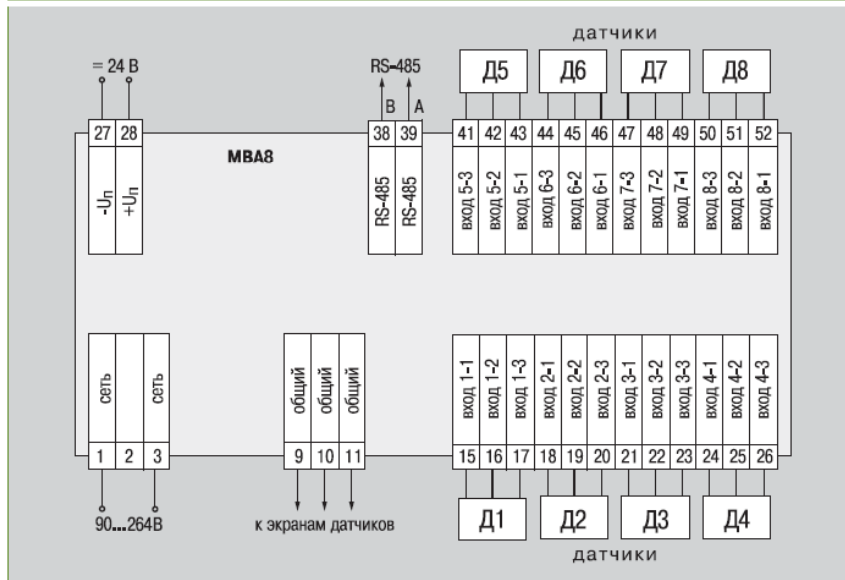
Характеристики измерительных датчиков		
Тип датчика	Диапазон измерений	Предел основной приведенной погрешности
ТСМ (Cu50) W <sub>100</sub> =1,426	-50...+200 °С	0,25 %
ТСМ (50M) W <sub>100</sub> =1,428	-190...+200 °С	0,25 %
ТСП (Pt50) W <sub>100</sub> =1,385	-200...+750 °С	0,25 %
ТСП (50П) W <sub>100</sub> =1,391	-200...+750 °С	0,25 %
ТСМ (Cu100) W <sub>100</sub> =1,426	-50...+200 °С	0,25 %
ТСМ (100M) W <sub>100</sub> =1,428	-190...+200 °С	0,25 %
ТСП (Pt100) W <sub>100</sub> =1,385	-200...+750 °С	0,25 %
ТСП (100П) W <sub>100</sub> =1,391	-200...+750 °С	0,25 %
ТСН (Ni100) W <sub>100</sub> =1,617	-60...+180 °С	0,25 %
ТСМ (Cu500) W <sub>100</sub> =1,426	-50...+200 °С	0,25 %
ТСМ (500M) W <sub>100</sub> =1,428	-190...+200 °С	0,25 %
ТСП (Pt500) W <sub>100</sub> =1,385	-200...+650 °С	0,25 %
ТСП (500П) W <sub>100</sub> =1,391	-200...+650 °С	0,25 %
ТСН (Ni500) W <sub>100</sub> =1,617	-60...+180 °С	0,25 %
ТСМ (Cu1000) W <sub>100</sub> =1,426	-50...+200 °С	0,25 %
ТСМ (1000M) W <sub>100</sub> =1,428	-190...+200 °С	0,25 %
ТСМ (Pt1000) W <sub>100</sub> =1,385	-200...+650 °С	0,25 %
ТСМ (1000П) W <sub>100</sub> =1,391	-200...+650 °С	0,25 %
ТСМ (Ni1000) W <sub>100</sub> =1,617	-60...+180 °С	0,25 %
ТСМ (53M) W <sub>100</sub> =1,426 (гр. 23)	-50...+200 °С	0,25 %
ТХК (Л)	-200...+800 °С	0,5 %
ТХК (Ж)	-200...+1200 °С	0,5 %
ТНН (Н), ТХА (К)	-200...+1300 °С	0,5 %
ТПП (С), ТПП (Р)	0...+1750 °С	0,5 %
ТПР (В)	+200...+1800 °С	0,5 %
ТВР (А-1)	0...+2500 °С	0,5 %
ТВР (А-2)	0...+1800 °С	0,5 %
ТВР (А-3)	0...+1600 °С	0,5 %
ТМК (Т)	-200...+400 °С	0,5 %
Сигнал тока		
0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА	0...100 %	0,25 %
Сигнал напряжения		
-50...+50 мВ, 0...1 В	0...100 %	0,25 %
Датчик положения задвижки:		
– резистивный (до 900 Ом)	0...100 %	не устанавливается
– токовый 0(4)...20 мА	0...100 %	
– токовый 0...5 мА	0...100 %	

## Программируемые параметры

Обозн. Название параметра	Допустимые значения	Комментарии
<b>Группа 1. Параметры входов</b>		
<b>in-t</b> Тип датчика	oFF 00...50	Датчик отключен Тип датчика
<b>in.Fd</b> Постоянная времени цифрового фильтра	0...1800	[с]
<b>in.FG</b> Полоса цифрового фильтра	0...999,9	[ед.изм.]
<b>ltrL</b> Период опроса датчика	0,3...30	[с]
<b>in.SH</b> Сдвиг характеристики датчика	-99,9...999,9	Прибавл. к измеренному значению, [ед.изм.]
<b>in.SL</b> Наклон характеристики датчика	0,900...1,100	Умнож. на измеренное значение, [ед.изм.]
<b>Ain.L</b> Нижняя граница диапазона измерения сигнала	-99,9...999,9	[ед.изм.]. Только для активных датчиков с унифицированным выходным сигналом тока или напряжения
<b>Ain.H</b> Верхняя граница диапазона измерения сигнала	-99,9...999,9	[ед.изм.]. Только для активных датчиков с унифицированным выходным сигналом тока или напряжения
<b>CJ-.C</b> Режим авт. коррекции по температуре свободных концов ТП	on oFF	Включен Выключен
<b>dP</b> Смещение дес. точки	0, 1, 2, 3	

Обозн. Название параметра	Допустимые значения	Комментарии
<b>Группа 2. Сетевые параметры прибора</b>		
<b>bPS</b> Скорость обмена данными	2,4; 4,8; 9,6; 14,4; 19,2; 28,8; 38,4; 57,6; 115,2	[кбит/с]
<b>LEn</b> Длина слова данных	7 или 8	[бит]
<b>PrtY</b> Контроль по четности слова данных	по odd EuEn	Контроль по четн. отсутствует Контроль по четному паритету Контроль по нечетному паритету
<b>Sbit</b> Количество стоп-бит в посылке	1 или 2	-
<b>A.Len</b> Длина сетевого адреса	8 или 11	[бит]
<b>Addr</b> Базовый адрес прибора	0...2047	Адрес должен быть кратным 8
<b>Rs.dL</b> Задержка ответа по сети RS-485	1...50	[с]
<b>Prot</b> Протокол работы	ОВЕН ModBus-RTU ModBus-ASCII DCON	

## Схемы подключения



### Схемы подключения измерительных датчиков к универсальным входам



### 1.3 Описание участка панели стенда с модулем МВА8

Модуль установлен на DIN-рейке в левом нижнем секторе панели над блоком датчиков (рис.1). Все входные клеммы модуля выведены на дублирующие зажимы, пронумерованные, как и на самом модуле.

Питание на весь стенд подается с помощью переключателя SO (верхний правый угол панели стенда). Каждый прибор имеет индивидуальный переключатель питания.

Сетевым переключателем S12 подается питание (~220В) на МВА8. Адаптер АС4 является преобразователем интерфейсов USB/RS-485, связывающим модуль с ПК.

К входам модуля, точнее, к дублирующим зажимам подключены:

№ входа	Тип датчика или имитатора с унифицированным сигналом
1-1 1-2 1-3	Резервный вход для случая юстировки модуля
2-1 2-2 2-3	Термопреобразователь медный ТСМ 50М ( $W_{100}=1,428$ )
3-1 3-2 3-3	Термоэлектрический преобразователь ТХК(L)
4-1 4-2 4-3	Резистивный датчик положения задвижки 2.0 кОм
5-1 5-2 5-3	Сухие контакты
6-1 6-2 6-3	Резерв
7-1 7-2 7-3	Резерв
8-1 8-2 8-3	Резерв

Следует помнить, что на неиспользуемые в работе входы ставят перемычки. Например, неиспользуемые входы 1 и 8. Перемычками замыкают клеммы 1-1,1-2 и 1-3 и, соответственно, 8-1, 8-2 и 8-3.

Магазин сопротивления Р4831 (приложение 3) или его аналог, с высокой точностью позволяет имитировать сигналы резистивных датчиков, в частности термопреобразователей сопротивления. С этой целью необхо-

димо иметь градуировочную таблицу (приложение 2) соответствующего датчика. Устанавливая с помощью рукояток магазина необходимое сопротивление, соответствующее заданной температуре, снимаем показания на мониторе ПК. Например, для термосопротивления ТСМ 50М ( $W_{100}=1,428$ ) при  $0^{\circ}\text{C}$  сопротивление 50 Ом, при  $100^{\circ}\text{C}$  – 71,31 Ом.

Потенциометр постоянного тока в комплекте прибора универсального измерительного типа Р4833 (приложение 4) или его аналог, с высокой точностью имитирует сигналы активных датчиков, в частности термопар, с выходным сигналом напряжения (ЭДС). С этой целью также необходимо иметь градуировочную таблицу соответствующей термопары (приложение 3) и для заданной температуры устанавливают сигнал в диапазоне  $-50\dots+50$  мВ.

---

*Например, для термопары ТХК (при температуре свободных концов  $0^{\circ}\text{C}$ ) ЭДС составляет для измеряемой температуры (т.е. температуры рабочего спая)  $0^{\circ}\text{C}$  – 0 мВ, для  $100^{\circ}\text{C}$  – плюс 6,95 мВ.*

Датчик положения задвижки регулирующего органа имитируется переменным резистором  $0\dots1000$  Ом.

Более подробно об этих датчиках в работе № 3. Здесь лишь отметим, что в электродвигательных исполнительных механизмах (ИМ) устанавливают резистивные, токовые или индуктивные датчики положения выходного вала ИМ, соединенного с задвижкой регулирующего органа. По сигналу этих датчиков регулятор определяется степень открытия или закрытия задвижки.

В ОВЕНовском оборудовании обычно применяют резистивные датчики  $0\dots900$  Ом,  $0\dots2000$  Ом и токовые  $0\dots5$  мА,  $0(4)\dots20$  мА.

МВА8 допускает работу с дискретными сигналами – «сухими» (т.е. неподключенных к внешнему источнику питания) контактами. На каждый вход можно подключать два таких контакта.

Оставшиеся резервные входы по указанию преподавателя могут быть использованы для других сигналов и датчиков.

#### 1.4 Порядок выполнения работы.

1.4.1. Ознакомиться с приложениями 1 - 4.

1.4.2. По указанию преподавателя установить на резервные входы дополнительные датчики (стр. 59 приложение 1) и выбрать тип датчиков для их имитации по входам 6, 7 и/или 8.

1.4.3. На неиспользуемые резервные входы установить перемычки. Установку перемычек произвести по ранее рассмотренной схеме (стр. 63, приложение 1).

1.4.4. Переключателями S1 – S11 и S13 – S15 поставить в положение «ОТКЛ», а переключатели S0 и S12 в положение ВКЛ.

1.4.5. Запустить программу «Конфигуратор МВА8», ярлык находится на рабочем столе ПК (стр. 31 приложения 1).

- 1.4.6. Установить связь программы с прибором (стр. 31-32 приложения 1). При установке сетевых параметров программы убедиться и при необходимости откорректировать значение порта компьютера: COM 3 или COM 4.
- 1.4.7. Произвести редактирование значений параметров для заданного входа 6, 7 или 8, согласно заданию преподавателя по п. 1.4.2. т.е. тип датчика, период опроса и др. характеристики (стр. 9-14, 67-70, приложение 1, п.3.2.3.3.).
  - 1.4.7.1. Задать верхнюю и нижнюю границы диапазона измерения, при использовании активных датчиков (стр. 16, приложение 1).
  - 1.4.7.2. Включить режим коррекции по температуре свободных концов термопары (стр.16, приложение 1).
- 1.4.8. Произвести запись измененных значений параметров в прибор (стр.46, п.6.2.5, приложение 1). Сохранить конфигурацию в файл (стр. 46, п.6.2.6, приложение 1).
- 1.4.9. Произвести опрос заданных входов 6, 7 и/или 8 в течение N минут с периодом опроса T секунд с записью показаний в файл в режиме автоматического сохранения измеренных значений (стр. 46-47, п.6.2.7, приложение 1). Значение N и T задается преподавателем.

В процессе записи показаний 10-15 раз произвести изменение сигналов по входам 6,7 и/или 8 (плавно и резко меняя значения сопротивления магазина и/или ЭДС потенциометра в пределах допустимых значений (приложение 2) предусмотренных для конкретного датчика).

Например, термосопротивление ТСМ 50М применяется для измерения температур в диапазоне  $-50^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$ , что соответствует изменению его сопротивления в пределах  $39,3 \dots 92,6$  Ом соответственно.

Приблизительно можно считать, изменение сопротивления на  $0,2$  Ом соответствует изменению температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ . Поэтому, поворачивая рукоятки магазина Р4831 в декадах с шагом  $0,001 \dots 0,1$  Ом, наносим «плавные» изменения, а в декаде с шагом  $1$  Ом – «резкие» скачки измеряемого параметра.

При выходе за границы  $39,3 \dots 92,6$  Ом появится аварийный сигнал.

- 1.4.10. Остановить режим опроса и автоматической записи по истечении времени N.
- 1.4.11. Открыть файл с сохраненными данными (на рабочем столе или  $\text{C:}/\text{Program Files}/\text{Owen}/\text{MVA8} \dots / \text{Название файла}$  (в формате месяц:число)). Построить график  $T=f(t)$ .
- 1.4.12. Включить режим фильтрации. Настроить параметры фильтрации. При настройке параметров фильтрации руководствоваться приложением 1 (стр. 18 - 20). Установить параметры:
  - а)полоса цифрового фильтра (in.FG);
  - б)постоянная времени цифрового фильтра (in.FD);

---

*При исследовании полосы цифрового фильтра параметр: интервал между измерениями должен совпадать с периодом опроса*

- 1.4.13. Повторить п. 1.4.9. – 1.4.11. в режиме фильтрации возмущений по сигналу. (Необходимо вносить искусственно возмущения).
- 1.4.14. Выполнить по входу 1 с помощью магазина сопротивлений Р4831 операции по выявлению необходимости юстировки МВА8 для термосопротивления. Марку ТС указывает преподаватель. (стр. 77-81, приложение 1 и приложение 2. Операцию юстировки по п. Д 2.3 приложения 1 не выполнять!)
- 1.4.15. Выполнить по входу 1 с помощью потенциометра постоянного тока в комплекте прибора универсального измерительного типа Р4833 (или его аналога) операции по выявлению необходимости юстировки МВА8 для термопары. Марку ТП указывает преподаватель. (стр. 81-83, приложение 1 и приложение 3. Операцию юстировки по п. Д 2.3 приложения 1 не выполнять!)
- 1.4.16. Выполнить коррекцию измерений при двухпроводной схеме подключения ТСМ 50М к заданному входу 6, 7 и/или 8 с применением магазина Р4831. Для имитации сопротивления линий связи термосопротивления с модулем необходимо между дублирующими зажимами модуля и датчиком установить проводники с встроенными дополнительными резисторами сопротивлением 10 Ом. (стр. 64-65, приложение 1).
- 1.4.17. Осуществить настройку и изменение сетевых параметров прибора (базовый сетевой адрес и др.) для работы в сети в пределах лаборатории. (стр. 40-44, 47-52, приложение 1).
- 1.4.18. Выполнить чтение данных по протоколу с входа прибора МВА8 соответствующего стенда в пределах лаборатории. (тип протокола, № стенда, № входа модуля задается преподавателем).
- 1.4.19. Сделать выводы. Подготовиться к контрольному опросу с предоставлением отчета.

## 1.5 Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель, краткое описание технических характеристик и функциональных возможностей модуля, файл с рабочей конфигурацией (по п. 1.4.8.), файл с данными измерений (по п. 1.4.9. – 1.4.10.), файл с данными (по п. 1.4.13.), результаты чтения данных (по п. 1.4.18.), выводы.

Примечание: Все приложения к методическим указаниям находятся в библиотеке лаборатории автоматике и выдаются преподавателем во время занятий.

Список используемых приложений:

Приложение 1. Руководство по эксплуатации модуля МВА8.

Приложение 2. Градуировочные таблицы для ТС и ТП.

Приложение 3. Техническое описание магазина сопротивления Р4831.

Приложение 4. Техническое описание прибора универсального измерительного Р4833.

## Вопросы для самоконтроля

1. Назначение модуля МВА8 и меры безопасности при эксплуатации прибора.
2. Основные функции, выполняемые модулем.
3. Датчики и входные сигналы для работы с модулем.
4. Номинальные статистические характеристики (НСХ) термопреобразователей сопротивления (ТС).
5. Назначение 3<sup>x</sup> проводной схемы подключения ТС.
6. Рабочий спай и свободные концы термоэлектрических преобразователей (термопар).
7. Области нелинейности НСХ датчиков температуры.
8. Назначение термоэлектрических кабелей (проводов).
9. Требования к изоляции рабочего спая.
10. Особенности подключения активных датчиков.
11. Значение сопротивления шунтирующего резистора для датчиков с токовым выходом.
12. О чем гласит неоднократное предостерегающее напоминание «Руководства по эксплуатации» в отношении шунтирующего резистора?
13. Особенности подключения «сухих контактов».
14. Период опроса датчиков.
15. Масштабирование шкалы изменений при работе с активными датчиками.
16. Назначение цифровой фильтрации измерений.
17. Назначение и виды коррекции измерений.
18. Причины аварийной сигнализации.
19. Требования к монтажу модуля.
20. Порядок программирования прибора.
21. Установка связи с прибором.
22. Организация обмена данными с прибором. Протоколы обмена.
23. Специфика работы с несколькими приборами в сети.

## Лабораторная работа № 2

### Исследование объекта управления

#### 2.1 Цель работы:

- освоить методы экспериментального определения статических и динамических характеристик объектов для последующего выбора параметров настройки регулятора.

#### 2.2 Краткие теоретические сведения

**Объект управления (регулирования)** – сложная динамическая система, имеющая, в общем случае, ряд входных и выходных величин (их же называют входными или выходными параметрами, сигналами, координатами). Например, электрический водогрейный котел.

**Входные величины** – ток нагревательного элемента, температура воды на входе в котел, температура окружающего воздуха и др. **Выходные величины** – температура выходящей из котла воды, давление пара, уровень воды и др.

Обычно одна из входных величин служит *регулирующим* воздействием, другие – *внешними возмущениями*. Также одна из выходных величин обычно является *регулируемой* величиной (рисунок 2.1).

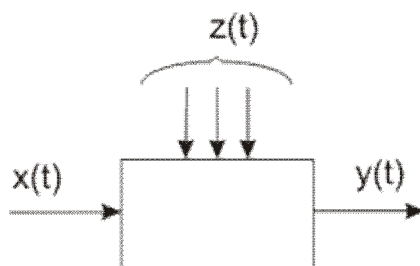


Рисунок 2.1 – Структурная схема одномерного объекта:  $x(t)$  – регулирующее воздействие;  $y(t)$  – регулируемая величина;  $z(t)$  – возмущения.

В нашем примере регулирующим воздействием можно принять ток (напряжение) нагревательного элемента; температуру воды на выходе – регулируемым параметром.

Возмущение, вызванное изменением количества забираемой из котла горячей воды, называют возмущением по *нагрузке*.

Объекты бывают *одномерными*, если одна регулируемая величина и *многомерными* (две и более).

В объектах с *сосредоточенными* параметрами выходные величины зависят только от величины воздействий (например, уровень воды в котле), а в объектах с *распределенными* параметрами – от положения места регистрации той или иной величины. (Например, температура воды по высоте котла).

Многие объекты способны накапливать энергию, вещество, т.е. обладают *емкостью*.

В одноемкостных объектах один накопитель, в многоемкостных – два и более, соединенные между собой какими-то сопротивлениями (гидравлическими, электрическими, тепловыми и др.), препятствующими перемещению вещества или передачи энергии из одной емкости в другую, что сопровождается появлением емкостного запаздывания. Большинство реальных объектов многоемкостные (рисунок 2.2)

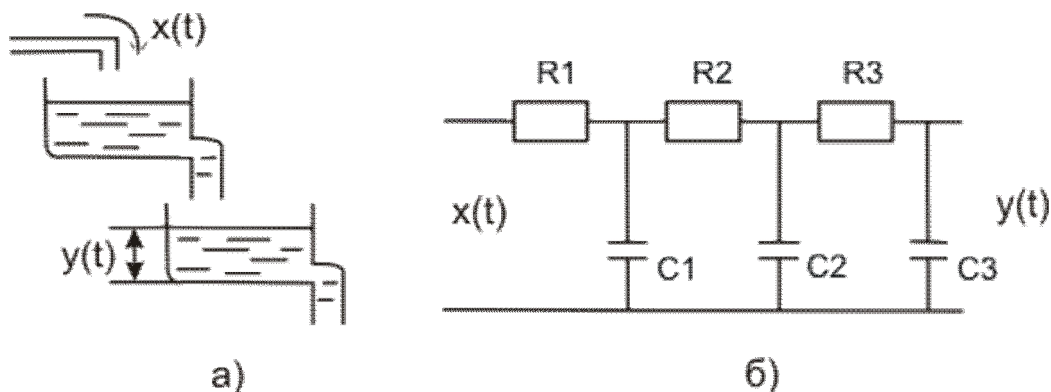


Рисунок 2.2 – Двухемкостный гидравлический объект – а и электрическая модель трехемкостного – б.

Статическая характеристика (СХ) объекта выражает зависимость  $y(t)=f[x(t)]$  в установившемся режиме.

Экспериментально СХ получают путем изменения  $x(t)$  и регистрации  $y(t)$  в установившемся режиме. Если значение  $y(t)$  продолжает изменяться, объект называется *астатическим* (или нейтральным).

По виду СХ можно сделать вывод о *линейности* объекта и определить статический коэффициент К усиления (передачи) объекта  $K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$  (рисунок 2.3).

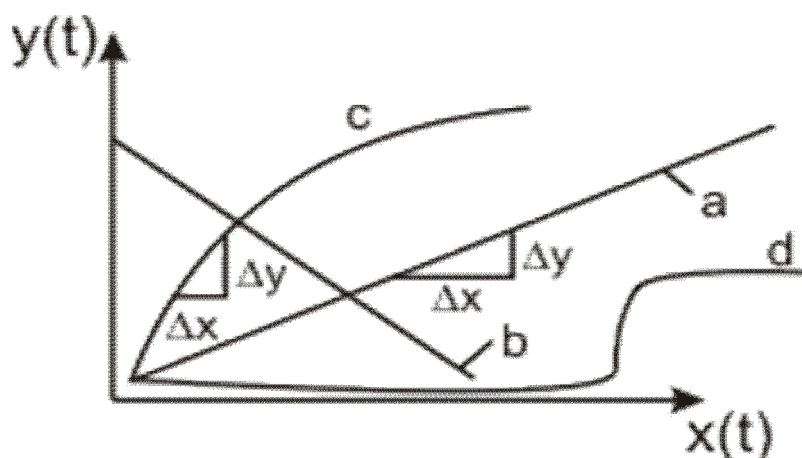


Рисунок 2.3 – Статические характеристики: а и б – линейных объектов; с и d – нелинейных объектов.

У нелинейных объектов значение  $K$  зависит от  $x(t)$ . При проведении эксперимента необходимо добиться постоянства значений возмущающих величин.

Динамические характеристики (ДХ) показывают зависимость  $y(t)$  от  $x(t)$  во времени.

Одной из важных ДХ является *переходная характеристика* (ПХ), т.е. графическое изображение изменения  $y(t)$  при *ступенчатом* воздействии  $x(t)$  (рис. 2.4).

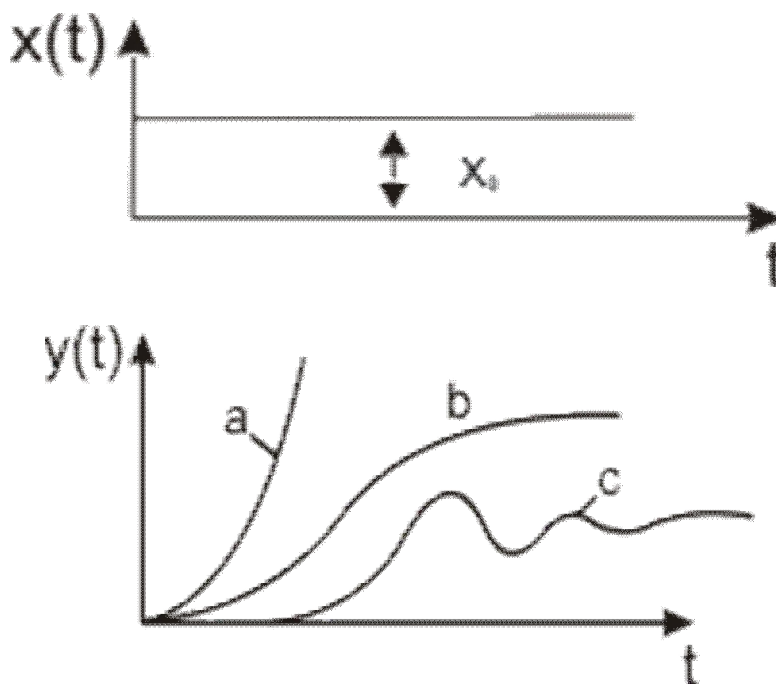


Рисунок 2.4 – Переходные характеристики: а – астатического объекта; б – многоемкостного инерционного объекта; с – многоемкостного колебательного объекта.

Тепловые объекты обычно имеют ПХ типа б (рисунок 2.4).

Если значение входного воздействия  $x_0 = 1$  (в единицах измерения регулирующего воздействия или процентах перемещения регулирующего органа), то ПХ называется *единичной*.

При снятии ПХ также следует принимать меры по стабилизации внешних возмущений.

### 2.3 Описание лабораторной установки

В качестве объекта исследований можно использовать (по указанию преподавателя) либо эмулятор печи ОВЕН ЭП10, либо тепловой объект, установленный вне стенда в комплекте с электродвигательным исполнительным механизмом и регулирующим органом – лабораторным автотрансформатором (ЛАТРОм). Объекты во многом идентичны. В ЭП10 нагревателем служит остеклованный трубчатый резистор, в полость которого соосно установлен датчик ТСМ 50М. В тепловом объекте вне стенда – нагреватель – лампа накаливания, которая выполняет также функции ин-

дикации включения объекта, для контроля температуры установлен датчик типа ТСМ 50М, что и в предыдущем объекте.

Клеммы ЭП10 продублированы зажимами на лицевой панели лабораторного стенда ((нумерация зажимов идентична нумерации клемм ЭП10) приложение 5).

В цепи нагревательных элементов тепловых объектов установлены выключатели.

Для регистрации температуры в объекте датчик следует подключить к резервному входу модуля МВА8 (см. работу № 1).

## 2.4 Порядок проведения работы

- 2.4.1. Выключатели нагревательных элементов объектов поставить в положение «ОТКЛ».
- 2.4.2. С помощью рукоятки ручного управления электродвигательного исполнительного механизма МЭО – при использовании теплового объекта вне стенда или с помощью рукоятки ЛАТРа (предварительно подключенного в цепь питания ЭП10) – при использовании ЭП10, установить положение регулирующего органа на отметку 20 %.
- 2.4.3. Включить ПК и модуль МВА8 и при необходимости выполнить редактирование параметров входа, к которому подключен датчик теплового объекта (см. работу №1, п.1.4.3 – п.1.4.7). Эксперимент проводить в режиме автоматического сохранения измеренных значений.
- 2.4.4. Убедиться в наличии перемычки на дублирующих зажимах ЭП10 «К выходу Р или С». При её отсутствии произвести установку (при использовании ЭП10).
- 2.4.5. Подать питание на нагрев теплового объекта. (Переключатель S15 – при использовании ЭП10 и переключатели «Сеть» и «Нагрев» – при использовании объекта установленного вне стенда). Дождаться режима установившихся показаний (примерно 15 мин.).
- 2.4.6. Далее, устанавливаем новые значения положения регулирующего органа: 40 %, 80 % и 100 % (или по указанию преподавателя с другими значениями и интервалами).
- 2.4.7. Отключить питание нагревательного элемента теплового объекта и дождаться установившихся показаний (температура Т приблизится к температуре начала эксперимента по п.2.4.5.).
- 2.4.8. Распечатать результаты эксперимента и приступить к их обработке и анализу.

На рис. 2.5 показан примерный вид записи для одного из объектов. График  $x(t)$  достроен вручную.

На графике ПХ за ноль по оси ординат условно принято начальное значение температуры объекта, относительно которого производим регистрацию  $T_1$ ,  $T_2$  и т.д.

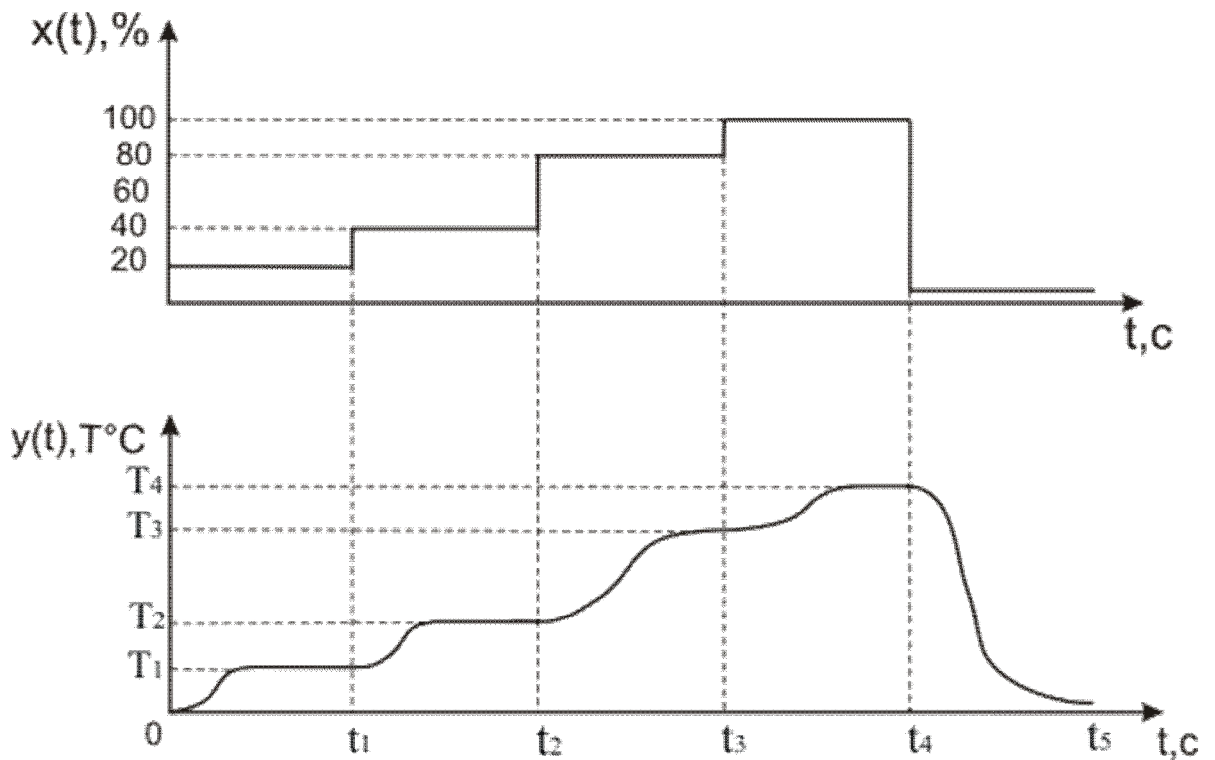


Рисунок 2.5 – Изменение температуры в тепловом объекте

В момент  $t_0$  поступил сигнал  $x(t)=20\%$ .

Температура установилась на отметке  $T_1$ .

В момент  $t_1$  поступил сигнал  $x(t)=40\%$  и температура установилась  $T_2$ .

В момент  $t_2$  поступил сигнал  $x(t)=80\%$ .

Температура достигла значения  $T_3$ .

В момент  $t_3$  поступил сигнал  $x(t)=100\%$  и температура установилась на отметке  $T_4$ .

В момент  $t_4$  поступил сигнал  $x(t)=-100\%$  (Обратите внимание на знак воздействия!). Температура постепенно вернулась в исходное состояние, т.е. уменьшилась на  $-T_4^0\text{C}$  относительно установившегося состояния в конце интервала  $t_3-t_4$ .

Приступаем к обработке результатов эксперимента.

## 2.5 Построение СХ

На графике (рис. 2.6) по оси абсцисс наносим значения  $x(t)$ . В нашем примере: 20 %, 40 %, 80 % и 100 %.

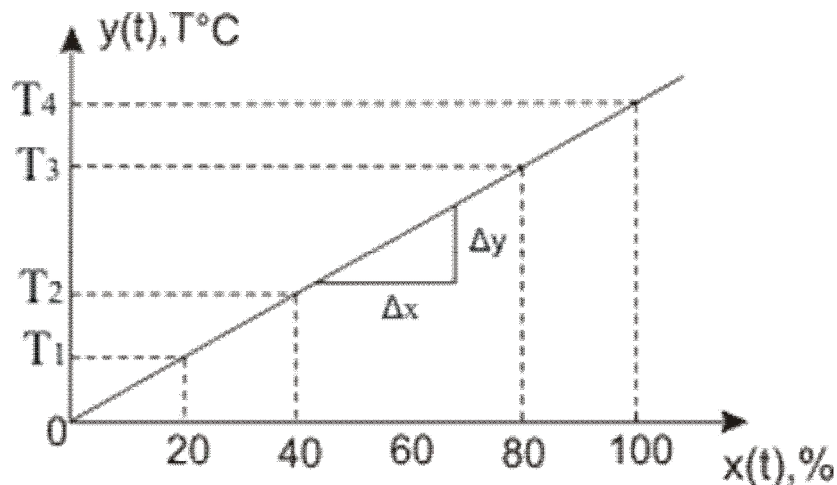


Рисунок 2.6 – Графическое изображение СХ

По виду СХ можно сделать заключение, что в пределах 20% ÷ 100 % объект можно считать линейным.

Статический коэффициент усиления  $K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\%} \right]$ . (Подставить конкретные значения  $\Delta y$  и  $\Delta x$  из реального графика).

## 2.6 Определение параметров объекта по ПХ

В качестве ПХ можно использовать любой участок записи (рисунок 2.5) в интервалах  $t_0-t_1$ ,  $t_1-t_2$ ,  $t_2-t_3$ ,  $t_3-t_4$ ,  $t_4-t_5$ , тем более, что объект в пределах изменения регулирующего воздействия практически линеен. Лучше взять участок с интервалом  $t_4-t_5$ , т.е. при воздействии  $x(t) = -100\%$ , выполнив для удобства обработки зеркальный поворот (относительно оси абсцисс) запись ПХ и график  $x(t)$ . Получим ПХ, изображенную на рисунке 2.7.

На этом графике ПХ за ноль опять условно принимаем установившееся значение температуры объекта в конце интервала  $t_3-t_4$ , т.е. температуру  $T_4$ , относительно которой происходит снижение температуры на  $-T_4^{\circ}\text{C}$ .

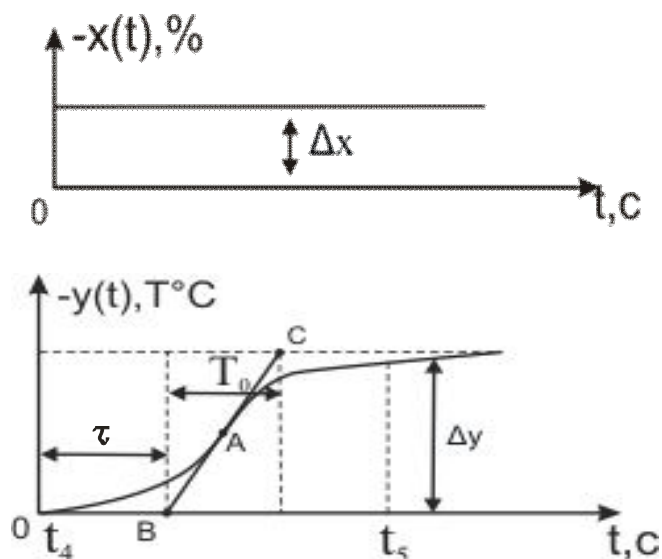


Рисунок 2.7 – ПХ на участке  $t_4-t_5$

По известной методике через точку перегиба А проводим касательную до пересечения с осью абсцисс и асимптотой в точках В и С соответственно.

По этим построениям можно легко найти параметры объекта в предположении, что многоемкостный инерционный объект заменяем идеальным инерционным одностепенным звеном, последовательного включения с звеном чистого (транспортного) запаздывания.

Передаточная функция такой модели объекта будет

$$W(p) = \frac{K_0}{T_0 p + 1} \cdot e^{-p\tau}$$

где  $T_0$  – постоянная времени объекта;  
 $\tau$  – время чистого запаздывания;  
 $K_0$  – статический коэффициент усиления:

$$K_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Для линейного объекта статический коэффициент усиления можно найти и по ПХ, приняв за  $\Delta x$  приращение входного сигнала и за  $\Delta y$  – приращение выходного сигнала.

Допустим, в результате опыта при изменении регулирующего воздействия  $x(t)$  от 100% до 0% (т.е.  $\Delta x = -100\%$ ), температура объекта снизилась в интервале  $t_4-t_5$  с 80 °С до 20 °С (т.е.  $\Delta y = -60^\circ\text{C}$ ). Тогда

$$K_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{-60^\circ\text{C}}{-100\%} = 0,6^\circ\text{C}/\%.$$

Следовательно, на один процент хода регулирующего органа (ЛАТРа) температура в объекте меняется на 0,6 °С.

Если при этом по графику ПХ определили  $\tau = 100$  с,  $T_0 = 400$  с, то передаточную функцию объекта можно записать:

$$W(p) = \frac{0,6 e^{-100p}}{400p + 1}$$

Полученные данные будут использованы в работе № 3.

## 2.7 Требования к отчету

Отчет должен содержать цель исследований, файл с данными измерений и расчеты параметров СХ и ПХ, выводы.

Примечание: Все приложения к методическим указаниям находятся в библиотеке лаборатории автоматике и выдаются преподавателем во время занятий.

Список используемых приложений:

Приложение 5. Техническое описание ЭП10.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что выражает статическая характеристика (СХ)?
2. Может ли объект не иметь СХ?
3. Как называют объект, не имеющий СХ?
4. Что выражают динамические характеристики (ДХ)?
5. Что такое переходная характеристика?
6. В каком случае ПХ называют единичной?
7. Какие меры необходимы при экспериментальном определении СХ и ДХ в отношении внешних возмущений?
8. В чем отличие ПХ статического и астатического?
9. В чем отличие ПХ одноемкостного и многоемкостного инерционных объектов?
10. Как по ПХ многоемкостного инерционного объекта определить время запаздывания, постоянную времени и статический коэффициент усиления?
11. С какой целью определяют СХ и ДХ?
12. Как по СХ определить коэффициент усиления объекта?

## Лабораторная работа № 3

### Применение универсального программного ПИД-регулятора ОВЕН ТРМ 151-03

#### в системах управления

(выполняется на стендах № 1, 2 и 3)

#### 3.1 Цель работы:

- ознакомиться с руководством по эксплуатации прибора ТРМ-151 (см. приложение 3.1);
- освоить меры безопасности при работе с прибором;
- освоить подключение регулятора к ПК через адаптер ОВЕН АС4;
- ознакомиться с подключением датчиков к универсальным входам регулятора;
- освоить подключение исполнительных механизмов (ИМ) к выходам прибора;
- научиться программировать регулятор с помощью кнопок на лицевой панели прибора.

## 3.2 Краткое описание регулятора



ТУ 4211-009-46526536-03 • Сертификат соответствия № 03.009.0192  
Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.32.004.A № 24975

### Универсальный двухканальный программный ПИД-регулятор ОВЕН ТРМ151



- **СОЗДАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ** различного уровня сложности — от контуров локального регулирования до комплексных систем управления объектами с интеграцией в АСУ
- **ЛИНЕЙКА СТАНДАРТНЫХ МОДИФИКАЦИЙ** для наиболее распространенных технологических процессов
- **ДВА ВСТРОЕННЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВХОДА И ДВА ВЫХОДА**
- **ВОЗМОЖНОСТЬ РАСШИРЕНИЯ ВХОДОВ И ВЫХОДОВ** путем подключения модулей ОВЕН МВА8, МВУ8 по интерфейсу RS-485 (в заказной конфигурации)
- **ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ:**
  - 2-х позиционными (ТЭНы, двигатели);
  - 3-х позиционными (задвижки, краны);
  - дополнительными устройствами (заслонки, жалюзи, дымо- или парогенераторы и т. п.)
- **ШИРОКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНФИГУРИРОВАНИЯ** с ЭВМ или с передней панели прибора:
  - различные уровни доступа для оператора, технолога и наладчика системы;
  - для каждой стандартной модификации прибора – свой удобно организованный набор параметров
- **ПРОГРАММЫ БЫСТРОГО СТАРТА**, разработанные специально для каждой модификации
- **ВОЗМОЖНОСТЬ БЫСТРОГО ДОСТУПА К УСТАВКАМ** при программировании прибора с передней панели

#### ВНИМАНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ!

Наши специалисты готовы создать на базе ТРМ151 **СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ** для автоматизации оборудования, производимого Вашей компанией.

Кроме того, группа технической поддержки ОВЕН может создать для Вас на базе любой модификации ТРМ151 **ЗАКАЗНУЮ КОНФИГУРАЦИЮ**, комбинирующую различные функциональные элементы стандартных модификаций.

Свои ТЗ на конфигурации ТРМ151 присылайте на e-mail: [trm151@owen.ru](mailto:trm151@owen.ru).

#### Описание прибора ТРМ151

##### Универсальные входы

ТРМ151 имеет два универсальных входа, к которым можно подключать датчики разного типа:

- ▶ термопреобразователи сопротивления типа ТСМ/ТСП/ТСН;
- ▶ термопары ТХК(L), ТХА(K), ТЖК(J), ТНН(N), ТПП(R), ТПП(S), ТПР(B), ТВР(A-1,2,3), ТМК(T);
- ▶ датчики с унифицированным выходным сигналом тока 0(4)...20 мА, 0...5 мА или напряжения 0...1 В, -50...+50 мВ;
- ▶ датчики положения задвижки (резистивные или токовые);
- ▶ «сухие» контакты.

Кроме того, ТРМ151 заказной конфигурации может снимать показания с 8-ми датчиков, подключенных к внешним модулям измерения ОВЕН МВА8, по сети RS-485.

##### Вычисление функций от измеренных величин

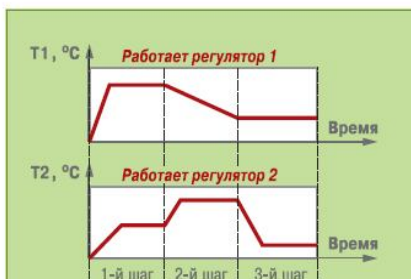
ТРМ151 может вычислять целый ряд функций от величин, измеренных на входах:

- ▶ относительную влажность психрометрическим методом;
- ▶ квадратный корень из измеренной величины;
- ▶ разность измеренных величин;
- ▶ среднее арифметическое измеренных величин;
- ▶ минимальное и максимальное значения измеренных величин;
- ▶ взвешенную сумму и частное измеренных величин.

##### Регулирование по программе, заданной технологом

В ТРМ151 одновременно могут работать 1 или 2 канала регулирования измеренной или вычисленной величины.

ТРМ151 управляет технологическим процессом по программе, которая представляет собой последовательность шагов, например:



▲ Пример программы для двухканального регулятора ТРМ151-01

- ▶ нагрев или охлаждение до заданной температуры или в течение заданного времени (с необходимой скоростью);
- ▶ поддержание температуры на уровне уставки в течение заданного времени;
- ▶ поддержание температуры на уровне уставки до тех пор, пока измеряемая величина в одном из каналов не достигнет заданного значения.

Для каждого шага программы задаются уставки, параметры регулирования и условия перехода на следующий шаг.

TPM151 может иметь 12 программ по 10 шагов в каждой. Также можно создать программу с бесконечным числом циклов или «сцепить» несколько программ в одну, что позволяет описать технологический процесс практически любой сложности.

### Режимы работы регуляторов

Регуляторы TPM151 могут работать в двух режимах:

- ▶ **двухпозиционное регулирование** (включение/выключение выходных устройств в соответствии с заданной логикой);
- ▶ **ПИД-регулирование**, позволяющее с высокой точностью управлять сложными объектами.

В приборе реализована функция автонстройки ПИД-регуляторов, избавляющая пользователей от трудоемкой операции ручной настройки.

### Выходные элементы

В приборе в зависимости от заказа могут быть установлены 2 выходных элемента в любых сочетаниях:

- ▶ реле 4 А 220 В;
- ▶ транзисторные оптопары п-р-п-типа 400 мА 60 В;
- ▶ симисторные оптопары 50 мА 300 В;
- ▶ ЦАП «параметр–ток 4...20 мА»;
- ▶ ЦАП «параметр–напряжение 0...10 В»;
- ▶ выход 4...6 В 100 мА для управления твердотельным реле.

Кроме того, TPM151 заказной конфигурации может использовать 8 выходных элементов внешних модулей вывода ОВЕН МВУ8 по сети RS-485.

### Управление 2-х и 3-х позиционными исполнительными механизмами

TPM151 может производить регулирование 2-х (ТЭНы, двигатели) и 3-х позиционными (задвиги, краны) исполнительными механизмами.

Используя TPM151 заказной конфигурации совместно с внешним модулем вывода ОВЕН МВУ8, можно управлять двумя 3-х позиционными механизмами. Остальные реле МВУ8 при этом могут быть задействованы для выдачи периодических импульсов (подробнее см. ниже) или для аварийной сигнализации.

Прибор может также выдавать результаты измерений или вычислений на регистратор при установке ЦАП в качестве выходного элемента.

### Контроль прохождения технологического процесса и работоспособности системы регулирования

TPM151 может контролировать:

- ▶ нахождение регулируемой величины в заданных пределах (для этого служит блок «инспектор»);
- ▶ работоспособность измерителей (проверка на обрыв, замыкание, выход за допустимый диапазон и т. д.)
- ▶ работоспособность выходных элементов (LBA-авария).

При этом TPM151 анализирует критичность аварийной ситуации. Например, на определенном шаге программы технолога произошел обрыв датчика, который не задействован на данном шаге. Прибор в этом случае, не останавливая выполнение программы, сигнализирует о неисправности, позволяя ее вовремя устранить без прерывания технологического цикла. Однако если произошла поломка нужного в данный момент измерителя, то TPM151 останавливает программу технолога и переводит объект в режим АВАРИЯ. При этом в режиме АВАРИЯ все выходные устройства не отключаются, а переходят на заранее заданную аварийную мощность.

### Генераторы импульсов для выходных устройств

В технологическом процессе могут быть задействованы устройства, которые не осуществляют регулирования, но требуют периодического включения на определенном этапе. Это дымоили парогенераторы, жалюзи систем вентиляции и т. д.

TPM151 позволяет управлять такими устройствами, задавая им интервалы включения и выключения на определенном шаге программы.

В случае, если выходные элементы прибора заняты, прибор может осуществлять управление такими механизмами, подключенными к внешнему выходному модулю МВУ8, через сетевой интерфейс RS-485.

### Регулирование разных величин с помощью одного исполнительного механизма

В некоторых случаях может возникнуть необходимость регулирования на разных шагах программы различных входных величин с использованием одного и того же исполнительного механизма. Например, с помощью одного ТЭНа на первом шаге можно регулировать температуру, а на втором – разность температур. TPM151 заказной конфигурации позволяет реализовать такую возможность. Для этого в приборе для каждой входной величины конфигурируют свой регулятор (их может быть до 8-ми), а затем на разных шагах программы к выходу прибора подключают разные регуляторы.

### Интерфейс связи RS-485. Модули расширения входов и выходов

В TPM151 установлен модуль интерфейса RS-485, организованный по стандартному протоколу ОВЕН. Интерфейс RS-485 позволяет:

- ▶ конфигурировать прибор на ПК (программа-конфигуратор предоставляется бесплатно);
- ▶ передавать в сеть текущие значения измеренных величин, выходной мощности регулятора, параметров программы технолога, а также любых программируемых параметров;
- ▶ получать из сети оперативные данные для генерации управляющих сигналов.

В сеть RS-485 могут быть объединены несколько приборов и модулей ввода/вывода. TPM151 может работать «мастером сети», управляя работой других приборов.

В качестве модулей расширения могут быть использованы:

- ▶ ОВЕН МВА8 (восьмиканальный модуль ввода аналоговых сигналов);
- ▶ ОВЕН МВУ8 (восьмиканальный модуль выходных устройств).

Подключение TPM151 к ПК производится через адаптер ОВЕН АС3-М или АС4.

При интеграции TPM151 в АСУ ТП в качестве программного обеспечения можно использовать SCADA-систему Owen Process Manager (см. раздел XVII) или какую-либо другую программу.

### Современный эффективный алгоритм АВТОНАСТРОЙКИ ПИД-регулятора: разработан компанией ОВЕН совместно с ведущими российскими учеными

При автонстройке прибор вычисляет оптимальные для данного объекта значения коэффициентов ПИД-регулирования. Последующая несложная ручная подстройка позволяет свести к минимуму перерегулирование.



Компания ОВЕН бесплатно предоставляет для TPM151:

- ▶ драйвер для Trace Mode;
- ▶ OPC-сервер для подключения прибора к любой SCADA-системе или другой программе, поддерживающей OPC-технологию;
- ▶ библиотеки WIN DLL для быстрого написания драйверов.

### Программы конфигурирования

Так как прибор обладает широкими возможностями, его настройка может превратиться в довольно сложную задачу. Для облегчения конфигурирования TPM151 ПО ОВЕН разработана специальная программа для ПК.

Программа «Конфигуратор TPM151» имеет 3 уровня доступа, защищенных паролями, – для наладчика системы, технолога и оператора. Для каждой

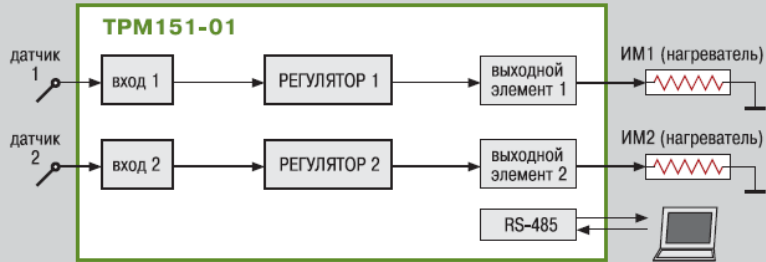
стандартной модификации в программе представлен свой набор удобно сгруппированных параметров. Кроме того, в конфигураторе предусмотрена возможность регистрации хода технологического процесса.

Для каждой стандартной модификации предлагается программа «Быстрый старт» с простым и понятным интерфейсом. Отвечая на предлагаемые программой вопросы, можно легко произвести первую настройку прибора.

## Стандартные модификации TPM151 для распространенных технологических процессов

### TPM151-01 ▶

2 канала пошагового регулирования, каждый из которых подключен к своему выходному элементу. Регулятор может работать в режимах ПИД и ON/OFF



### TPM151-03 ▶

Одноканальное пошаговое регулирование задвижкой с датчиком положения или без него. Применяется в системах вентиляции, водоснабжения, в пищевой промышленности, может применяться как регулятор соотношения



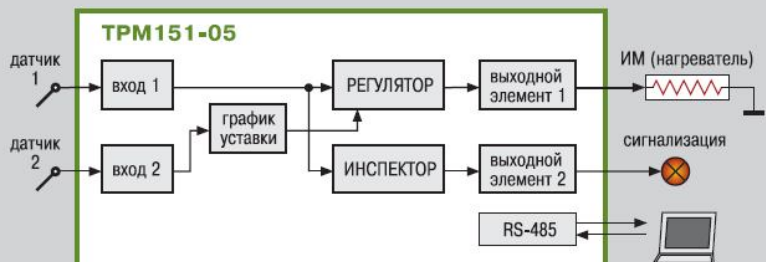
### TPM151-04 ▶

Одноканальное пошаговое регулирование по измеренной или вычисленной величине. Имеется блок контроля выхода величины за допустимый диапазон («инспектор»). Сигнал инспектора подается на выходной элемент 2, к которому подключается средство аварийной сигнализации (лампа, звонок и т. д.)



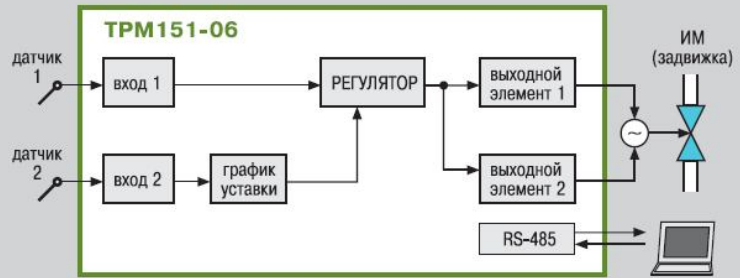
### TPM151-05 ▶

Одноканальное пошаговое регулирование, при этом уставка регулятора может быть скорректирована по определенной функции от значения, измеренного на входе 2. Также может быть подключен блок инспектора, соединенный со вторым выходом прибора. Применяется в погодозависимых системах отопления, многозонных электропечах, теплицах и инкубаторах



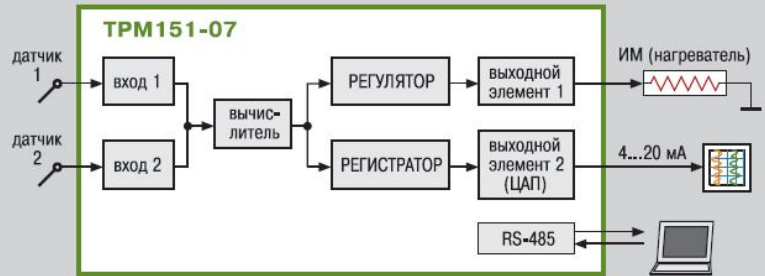
**TPM151-06** ▶

Одноканальное пошаговое регулирование задвижкой без датчика положения. При этом уставка регулятора может быть скорректирована по определенной функции от значения, измеренного на входе 2. Применяется в погодозависимых системах отопления, вентиляции, теплицах и инкубаторах, может применяться как регулятор соотношения



**TPM151-07** ▶

Одноканальное пошаговое регулирование по измеренной или вычисленной величине. Эта величина дублируется на ЦАП 4...20 мА, к которому подключается аналоговый регистратор. Применяется при автоматизации процессов, требующих регистрации на аналоговых самописцах



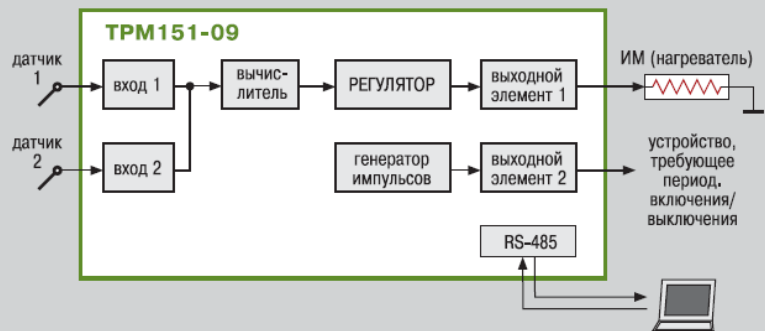
**TPM151-08** ▶

Одновременное пошаговое регулирование температуры и влажности. Вычисление влажности производится психрометрическим методом по температуре «сухого» и «влажного» термометров. Применяется при автоматизации климатических камер и теплиц



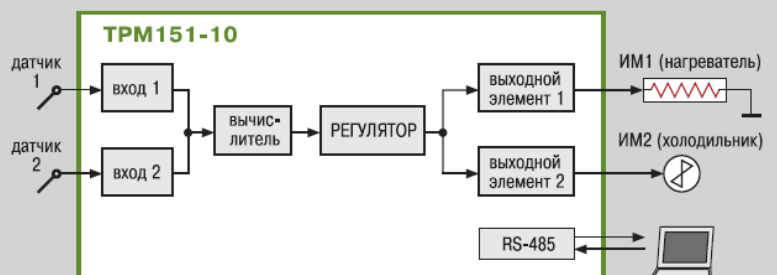
**TPM151-09** ▶

Одноканальное пошаговое регулирование по измеренной или вычисленной величине. На второй выход прибора можно на определенном шаге программы подать периодические импульсы. Применяется для автоматизации различных установок, требующих включения дополнительного или сигнального оборудования. Находит широкое применение в пищевой и лесной промышленности



**TPM151-10** ▶

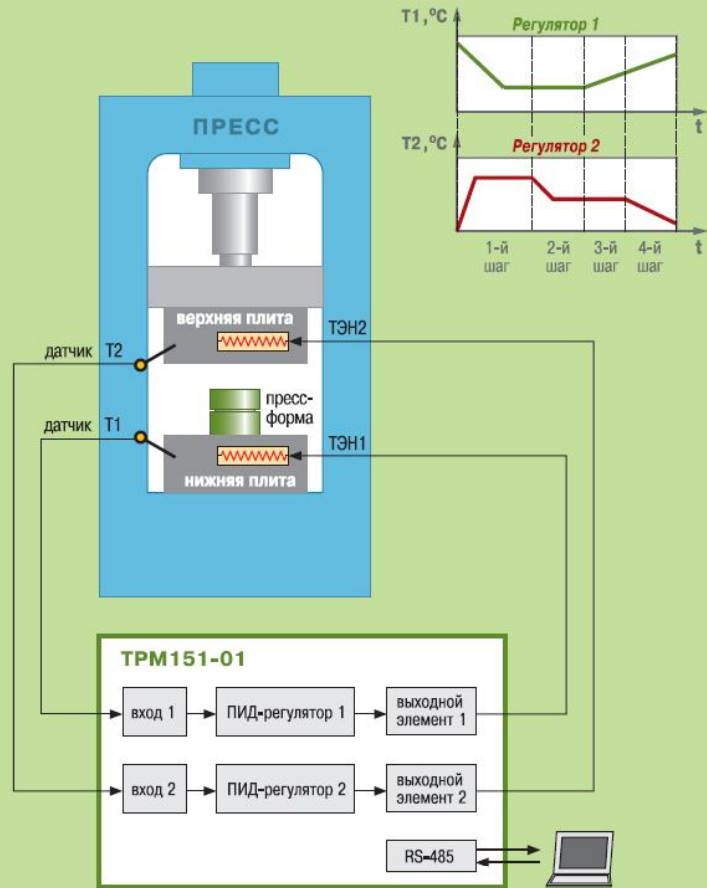
Одноканальное пошаговое регулирование с помощью системы «нагреватель – холодильник». Применяется для автоматизации климатических камер, систем вентиляции и кондиционирования



Пример 1. ▶

**Использование ТРМ151-01 для поддержания температуры при прессовании изделий**

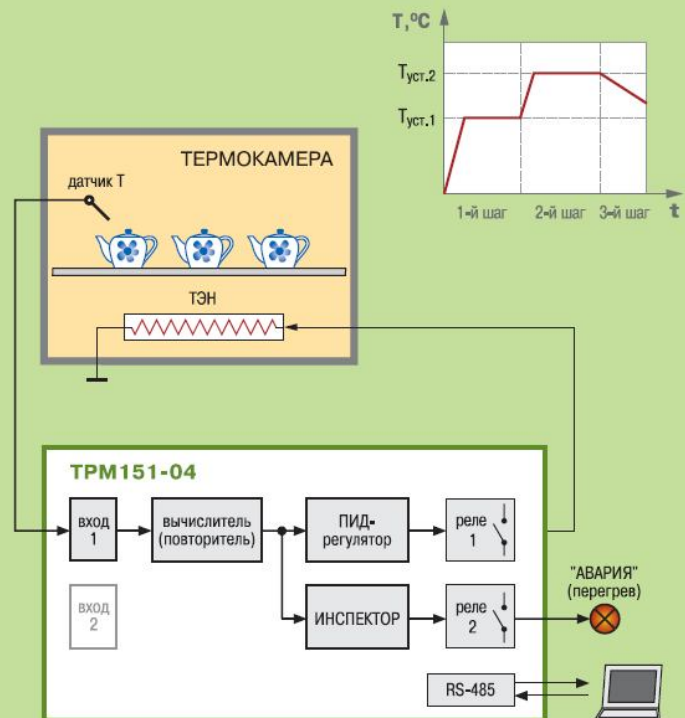
При изготовлении прессованных изделий (например, резинотехнических) необходимо соблюдать температурный режим. ТРМ151-01 поддерживает температуру верхней и нижней плит пресса с помощью двух ТЭНов. При этом температура может изменяться по заданному пользователем графику.

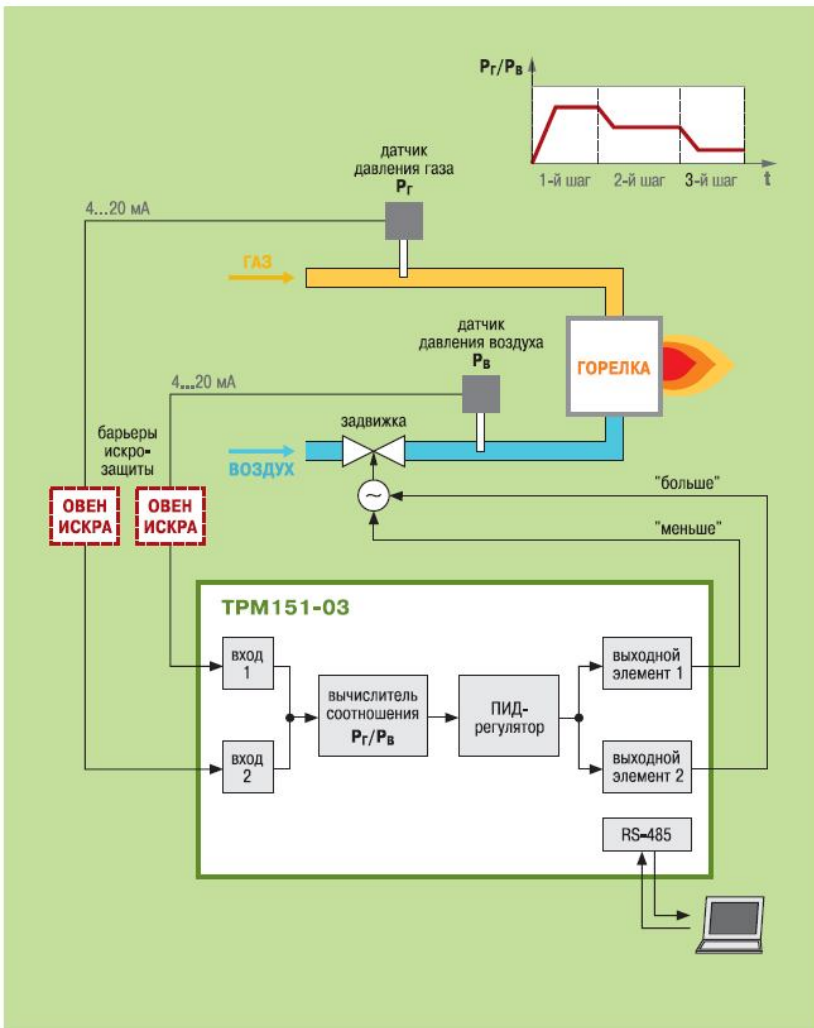


Пример 2. ▶

**Использование ТРМ151-04 при термообработке керамики для регулирования температуры в камере, с возможностью аварийной сигнализации**

ПИД-регулирование температуры осуществляется с помощью ТЭНа. Программа регулирования состоит из 3-х шагов, каждый с заданной длительностью: 1-й шаг — нагрев и выдержка при температуре  $T_{уст.1}$ , 2-й шаг — то же при  $T_{уст.2}$ , 3-й шаг — охлаждение. Второе реле прибора используется для аварийной сигнализации, например, при перегреве.



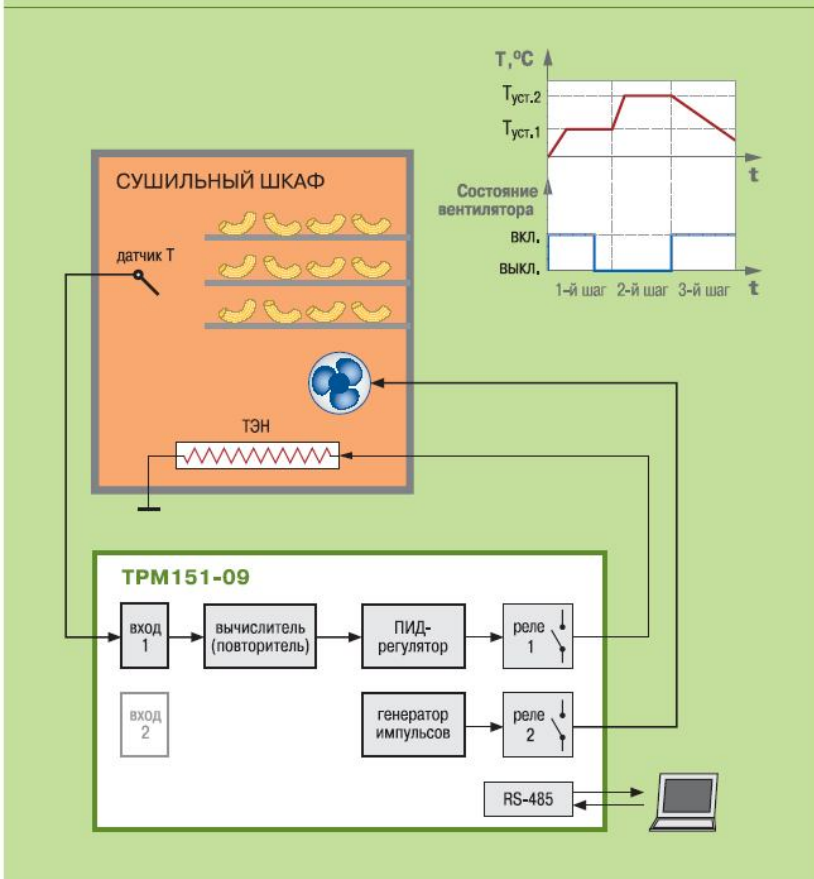


Пример 3.

**Использование ТРМ151-03 в качестве регулятора соотношения газ/воздух**

Регулирование соотношения газ/воздух необходимо для оптимизации процесса горения в горелках паровых или водогрейных котлов. ТРМ151-03 обеспечивает оптимальное соотношение давления газа и воздуха  $P_r/P_в$ , регулируя с помощью задвижки количество воздуха, поступающего в горелку. График изменения соотношения  $P_r/P_в$  во времени задается пользователем.

При использовании регулятора соотношения для взрывоопасных газов на линии связи прибора с датчиками необходимо установить барьер искрозащиты, например для датчиков с выходным сигналом 4...20 мА – барьер ОВЕН ИСКРА-АТ.01.



Пример 4.

**Использование ТРМ151-09 для управления процессом сушки (макаронных изделий, овощей, фруктов, грибов и др.)**

ТРМ151-09 поддерживает температуру в сушильном шкафу с помощью ТЭНа по заданному пользователем графику. Кроме того, на некоторых шагах на заданное время дополнительно включается вентилятор, что обеспечивает более равномерную просушку продукта.

**ЦИФРОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ** в процессе выполнения программы отображают:

**индикатор 1** – текущее значение регулируемой величины в выбранном канале;

**индикатор 2** – текущее значение уставки той же величины, при этом светится светодиод «УСТАВКА»;  
если нажать одновременно **ВВОД** и **↕**, индикатор 2 покажет время, прошедшее от начала текущего шага (при этом засветится светодиод «ВРЕМЯ ШАГА»);

**индикатор 3** – значение выходной мощности, подаваемой на исполнительный механизм, в процентах;

**индикатор 4** – номер текущей программы и номер шага (через точку).

Светодиоды «ВХОД 1», «ВХОД 2» показывают, для какого канала отображается информация на индикаторах 1...3.

Кнопками **↕** и **↕** переключаются индицируемые каналы, также можно включить режим автоматического переключения каналов.

При остановке выполнения программы **ЦИФРОВОЙ ИНДИКАТОР 2** показывает состояние, в котором находится прибор:  
END – «конец программы»;  
RUN.P – «пауза»;  
STOP – «стоп»;  
FAIL – «авария».

Светодиод «АВАРИЯ» светится при «критичной» аварии (обрыв датчика, перегрев, и т.п.), при этом регулирование останавливается.

Светодиод «НАСТР.ПИД» светится при автонстройке ПИД-регулятора.

Светодиоды «РУ1» и «РУ2» сообщают о том, что канал 1 или 2 находится в режиме ручного управления выходной мощностью или уставкой.

Светодиоды «К1» и «К2» светятся, если ключевой выходной элемент 1 или 2 замкнут.



Элементы индикации и управления приведены для двухканального регулятора ТРМ151-01, для ТРМ151 других модификаций они могут иметь небольшие отличия.

Кнопки выполняют следующие основные функции:

- ПУСК/СТОП** – запуск и остановка программы технолога;
- ВВОД** – выбор программы и шага для выполнения;
- ВЫХОД** + **ПУСК/СТОП** – пауза при выполнении программы;
- ↔** + **ВВОД** – переход в режим программирования;
- ↔** + **ПУСК/СТОП** – переход в режим «быстрого» программирования (задания уставок и других технологических параметров);
- ↕** + **ВВОД** – переход в режим автонстройки ПИД-регуляторов;
- ВВОД** – выход из различных режимов, отключение аварийной сигнализации, отмена внесенных изменений при программировании;
- ↔** + **ВВОД** + **↕** – переход в режим ручного управления уставкой;
- ↔** + **ВВОД** + **↕** – переход в режим ручного управления выходной мощностью.

Кнопки **↕** и **↕** при программировании используются для уменьшения или увеличения значения параметра.

### Технические характеристики

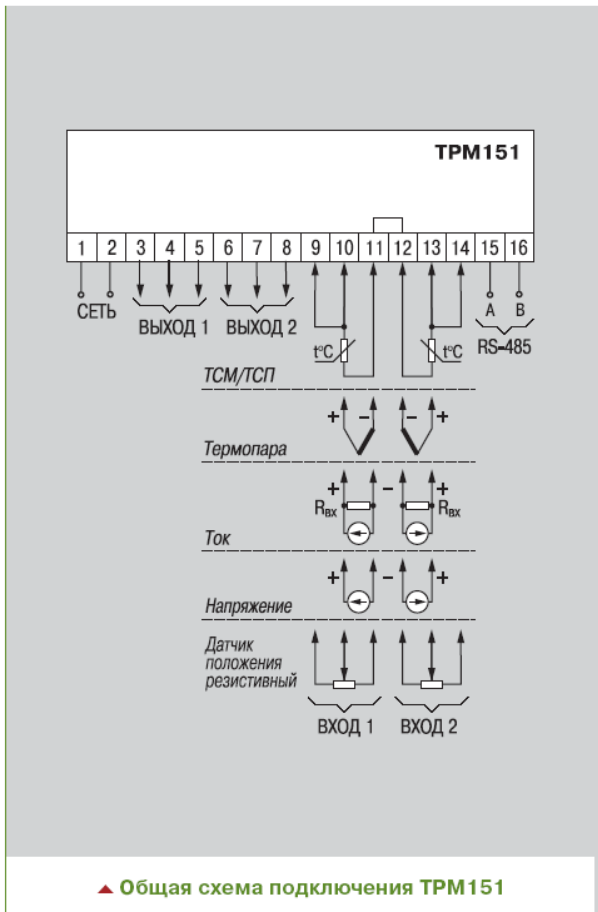
Напряжение питания	90...245 В перем. тока
Частота напряжения питания	47...63 Гц
Потребляемая мощность	не более 6 ВА
Количество входов для подключения датчиков	2
Время опроса одного входа	0,3 с
Количество выходных элементов	2
Интерфейс связи с компьютером	RS-485 (протокол ОВЕН)
Габаритные размеры (мм) и степень защиты корпуса:	
– настенный Н	130x105x65 мм, IP44
– щитовой Щ1	96x96x70 мм, IP54 со стор. передней панели

Характеристики выходных элементов		
Обозн.	Тип вых. элемента	Электрические характеристики
<b>Р</b>	электромагнитное реле	4 А при 220 В 50 Гц ( $\cos \varphi \geq 0,4$ )
<b>К</b>	транзисторная оптопара структуры п–р–п-типа	400 мА при 60 В
<b>С</b>	симисторная оптопара для управления однофазной нагрузкой	50 мА при 600 В (пост. откр. симистор) или 0,5 А (симистор вкл. с частотой не более 100 Гц и $t_{имп.} = 5$ мс)
<b>И</b>	цифроаналоговый преобразователь «параметр–ток» 4...20 мА	Сопротивление нагрузки 0...900 Ом
<b>У</b>	цифроаналоговый преобразователь «параметр–напряжение» 0...10 В	Сопротивление нагрузки более 2 кОм
<b>Т</b>	выход для управления твердотельным реле	выходное напряжение 4...6 В макс. выходной ток 50 мА

Условия эксплуатации	
Температура окружающего воздуха	+1...+50 °С
Атмосферное давление	86...106,7 кПа
Отн. влажность воздуха (при +25 °С и ниже б/конд. влаги)	не более 80 %

Характеристики измерительных датчиков			
Тип датчика	Диапазон измерений	Разреш. способность	Предел осн. привед. погрешн.
ТСМ 50М/100М ( $W_{100}=1,426$ )	-50...+200 °С	0,1 °С	0,25 %
ТСМ 50М/100М ( $W_{100}=1,428$ )	-190...+200 °С	0,1 °С	
ТСП 50П/100П, Pt100 ( $W_{100}=1,391$ или 1,385)	-200...+750 °С	0,1 °С	
ТСП 500П/1000П ( $W_{100}=1,391$ или 1,385)	-200...+750 °С	0,1 °С	0,5 %
ТСП 100Н/1000Н ( $W_{100}=1,617$ )	-60...+180 °С	0,1 °С	
ТСМ гр. 23	-50...+200 °С	0,1 °С	
ТХК (L)	-200...+800 °С	0,1 °С	
ТЖК (J)	-200...+1200 °С	1 °С	
ТНН (N), ТХА (K)	-200...+1300 °С	1 °С	
ТПП (S), ТПП (R)	0...+1750 °С	1 °С	
ТПР (B)	+200...+1800 °С	1 °С	
ТВР (A-1)	0...+2500 °С	1 °С	
ТВР (A-2)	0...+1800 °С	1 °С	
ТВР (A-3)	0...+1600 °С	1 °С	
ТМК (T)	-200...+400 °С	0,1 °С	
Сигнал тока 0...5 мА, 0(4)...20 мА	0...100 %	0,1 %	
Сигнал напряжения -50...+50 мВ, 0...1 В	0...100 %	0,1 %	0,25 %
Датчик положения задвижки:			
– резистивный 0,9 кОм, 2,0 кОм	0...100 %	1 %	0,25 %
– токовый 0...5 мА, 0(4)...20 мА	0...100 %	0,1 %	

## Схемы подключения



## Обозначение

TRM151-X.XX.X

### Тип корпуса:

- Щ1** – щитовой, 96x96x70 мм, IP54
- Н** – настенный, 130x105x65 мм, IP44

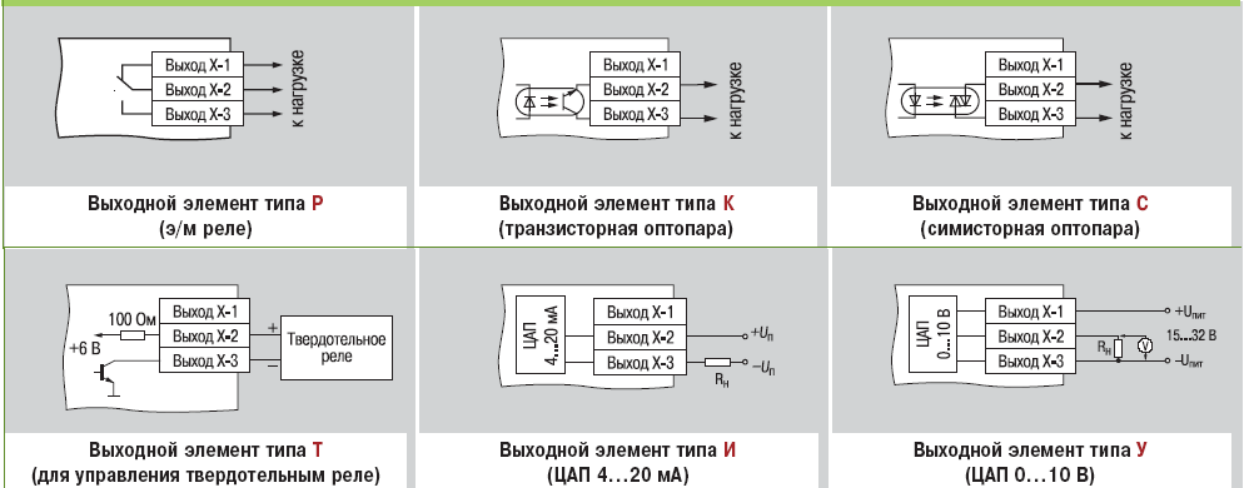
### Выход 1 (2):

- Р** – реле электромагнитное 4 А 220 В
- К** – транзисторная оптопара структуры п-р-п-типа 400 мА 60 В
- С** – симисторная оптопара 50 мА 600 В
- Т** – для управления твердотельным реле 4...6 В 50 мА
- И** – цифроаналоговый преобразователь «параметр–ток 4...20 мА»
- У** – цифроаналоговый преобразователь «параметр–напряжение 0...10 В»

### Модификация по алгоритму работы:

- 01** – двухканальный регулятор
- 03** – одноканальный регулятор для управления задвижкой
- 04** – одноканальный регулятор с аварийной сигнализацией
- 05** – одноканальный регулятор с коррекцией уставки по графику и аварийной сигнализацией
- 06** – одноканальный регулятор для управления задвижкой с коррекцией уставки по графику
- 07** – одноканальный регулятор с регистрацией измеренной величины на ЦАП
- 08** – регулятор температуры и влажности
- 09** – одноканальный регулятор с генерацией периодических импульсов на втором выходе
- 10** – одноканальный регулятор для управления системой «нагреватель–холодильник»
- 00** – «пустая» модификация: двухканальный регулятор с полным доступом ко всем функциям

## Схемы подключения выходных элементов



## Комплектность

1. Прибор TRM151.
2. Комплект крепежных элементов (Н или Щ, в зависимости от типа корпуса).
3. Паспорт и руководство по эксплуатации.
4. Гарантийный талон.
5. Программы конфигурирования на CD-ROM.

## Регулятор аналогового типа. Принцип ШИМ

В режиме аналогового регулирования ЛУ рассчитывает отклонение  $E$  текущего значения контролируемой величины  $T$  от заданной уставки  $T_{уст.}$  (т. е. рассогласование). В результате на выходе регулятора вырабатывается аналоговый сигнал  $Y$ , который направлен на уменьшение рассогласования  $E$ . Этот сигнал подается на исполнительное устройство регулятора в виде тока или последовательности импульсов (ШИМ).

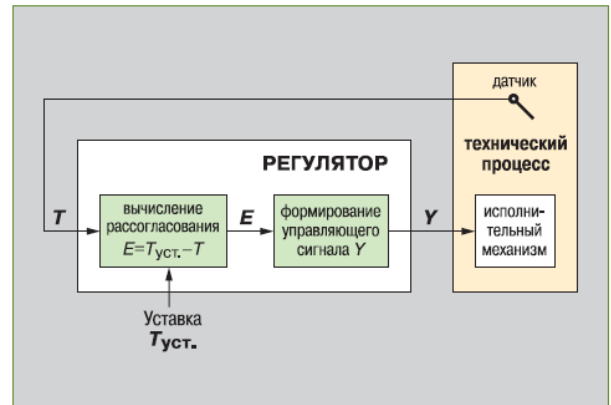
Если выходное устройство регулятора ключевого типа (реле, транзисторная или симисторная оптопара, выход для управления твердотельным реле), выходной сигнал преобразуется в последовательность управляющих импульсов с длительностью  $D$  (см. рисунок):

$$D = Y \cdot \frac{T_{сл}}{100\%},$$

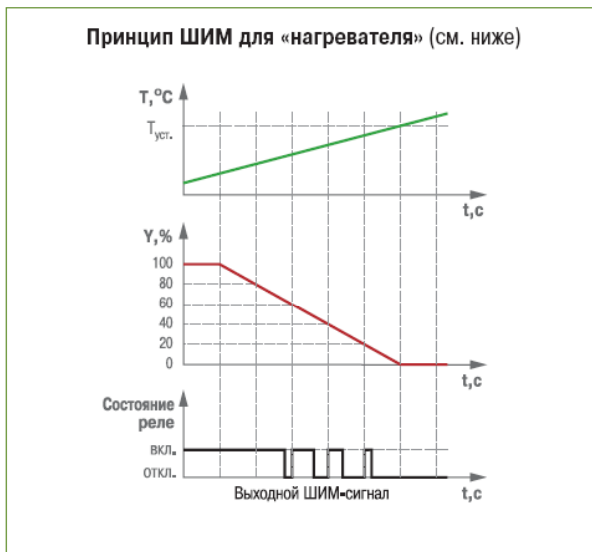
где  $D$  — длительность импульса, с;  
 $T_{сл}$  — период следования импульсов, с (задается пользователем при программировании);  
 $Y$  — выходной сигнал регулятора.

Если в качестве выходного устройства используется ЦАП, выходной сигнал преобразуется в пропорциональный ему ток 4...20 мА или напряжение 0...10 В.

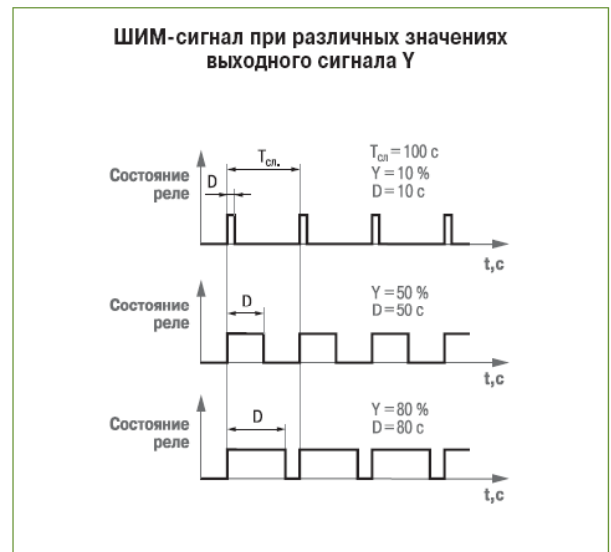
Регулятор — устройство, предназначенное для поддержания контролируемой величины на заданном уровне.



Принцип ШИМ для «нагревателя» (см. ниже)



ШИМ-сигнал при различных значениях выходного сигнала Y



## ПИД-регулятор. Общие принципы ПИД-регулирования

**Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор** — наиболее эффективный и распространенный вид регулятора, обеспечивающий достаточно высокую точность при управлении различными процессами.

ПИД-регулятор вырабатывает выходной сигнал, который рассчитывается по следующей формуле:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[ E_i + \tau_d \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_{и}} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{изм} \right] \cdot 100\%,$$

где  $X_p$  — полоса пропорциональности;  
 $E_i$  — рассогласование;  
 $\tau_d$  — постоянная времени дифференцирования;  
 $\Delta E_i$  — разность между двумя соседними измерениями  $E_i$  и  $E_{i-1}$ ;  
 $\Delta t_{изм}$  — время между двумя соседними измерениями  $T_i$  и  $T_{i-1}$ ;  
 $\tau_{и}$  — постоянная времени интегрирования;  
 $\sum_{i=0}^n E_i$  — накопленная в  $i$ -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма).

Как видно из формулы, сигнал управления является суммой трех составляющих:

- ▶ пропорциональной (1-е слагаемое);
- ▶ интегральной (3-е слагаемое);
- ▶ дифференциальной (2-е слагаемое).

**Пропорциональная составляющая** зависит от рассогласования  $E_i$  и отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования.

**Интегральная составляющая** содержит в себе накопленную ошибку регулирования, которая является дополнительным источником выходной мощности и позволяет добиться максимальной скорости достижения уставки при отсутствии перерегулирования.

**Дифференциальная составляющая** зависит от скорости изменения параметра  $\Delta E_i / \Delta t_{изм}$ , вызывающей реакцию регулятора на резкое изменение измеряемого параметра, возникшее, например, в результате внешнего возмущающего воздействия.

Для эффективной работы ПИД-регулятора необходимо подобрать для конкретного объекта регулирования значения коэффициентов ПИД-регулятора  $X_p$ ,  $\tau_d$  и  $\tau_{и}$ . Это можно сделать вручную или воспользоваться автонастройкой.

## ПИД-регулятор. Частные случаи, поясняющие действие его пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих

Аналоговый П-регулятор (см. ЛУ в приборах ТРМ1, 2ТРМ1, ТРМ201, ТРМ202)

### Пропорциональное регулирование (П-закон)

При цифровой реализации П-закона регулирования выходной сигнал регулятора  $Y_i$  пропорционален величине рассогласования  $E_i$ , т. е.

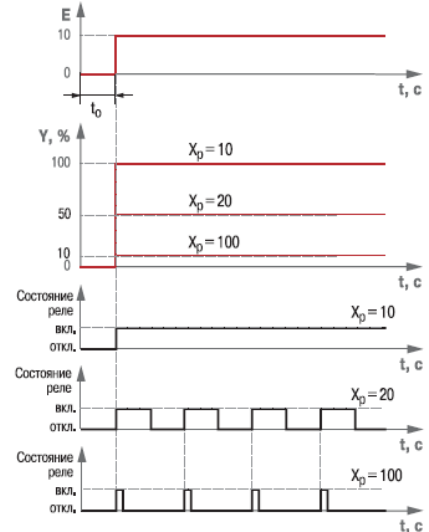
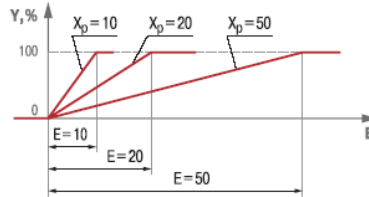
$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot E_i \cdot 100\%$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности, в пределах которой справедлива эта формула;  $E_i$  – разность между заданным  $T_{уст.}$  и текущей  $T_i$  значениями измеряемой величины, или рассогласование.

Полоса пропорциональности  $X_p$ , как и отклонение  $E$ , выражается в единицах контролируемого параметра. Чем шире полоса пропорциональности  $X_p$ , тем меньше величина выходного сигнала  $Y$  при одном и том же отклонении  $E$  (см. рисунок справа). Вне полосы пропорциональности выходной сигнал  $Y$  равен 0 или 100 %.

При действии П-закона регулятор выдает импульсы, в которых присутствует только пропорциональная составляющая величины выходного сигнала.

**Зависимость выходного сигнала П-регулятора от рассогласования при различных значениях  $X_p$**



▲ Выходной сигнал П-регулятора и длительность управляющих импульсов при различных значениях  $X_p$  и  $E = 10$

### Пропорционально-дифференциальное регулирование (ПД-закон)

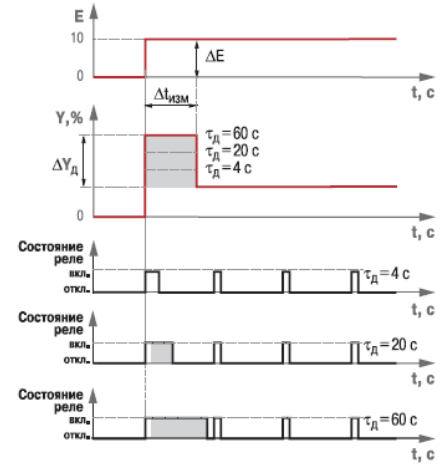
При работе прибора в режиме ПД-регулятора величина выходного сигнала  $Y_i$  зависит не только от величины отклонения  $E_i$ , но и от скорости его изменения:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[ E_i + \tau_d \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} \right] \cdot 100\%$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности;  
 $E_i$  – рассогласование;  
 $\tau_d$  – постоянная времени дифференцирования;  
 $\Delta E_i$  – разность между двумя соседними измерениями  $E_i$  и  $E_{i-1}$ ;  
 $\Delta t_{изм}$  – время между двумя соседними измерениями  $T_i$  и  $T_{i-1}$ ;

$\Delta E_i / \Delta t_{изм}$  – скорость изменения рассогласования  $E_i$ .

Изменение выходного сигнала регулятора при ступенчатом изменении отклонения показано на рисунке. В первый период после ступенчатого изменения  $E_i$  регулятор выдает управляющий импульс, в котором, кроме пропорциональной составляющей, вызванной рассогласованием  $E_i$ , добавляется дифференциальная (заштрихованная часть)  $\Delta Y_d$ , которая зависит от величины  $\Delta E_i$  и коэффициента  $\tau_d$ . В последующих импульсах присутствует только пропорциональная составляющая, так как нет изменения  $E_i$ .



▲ Выходной сигнал ПД-регулятора и длительность управляющих импульсов при различных значениях  $\tau_d$  и  $E = 10$

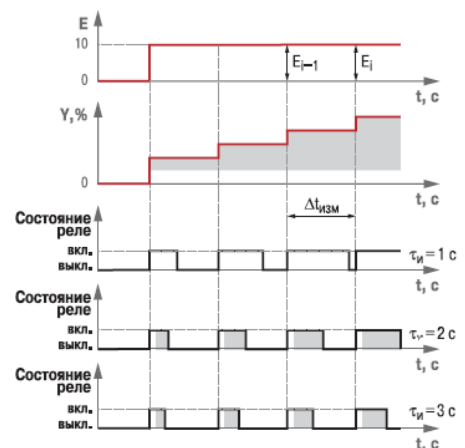
### Пропорционально-интегральное регулирование (ПИ-закон)

При работе прибора в режиме ПИ-регулятора величина выходного сигнала  $Y_i$  зависит как от величины рассогласования  $E$ , так и от суммы предыдущих рассогласований.

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[ E_i + \frac{1}{\tau_{ин}} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{изм} \right] \cdot 100\%$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности;  
 $E_i$  – отклонение;  
 $\tau_{ин}$  – постоянная времени интегрирования;  
 $\sum_{i=0}^n E_i$  – накопленная в  $i$ -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма).

Из рисунка видно, что в первый момент времени, когда нет отклонения ( $E_i = 0$ ), нет и выходного сигнала ( $Y_i = 0$ ). С появлением отклонения  $E_i$  появляются импульсы, длительность которых постепенно увеличивается. В импульсах присутствует пропорциональная составляющая, которая зависит от величины  $E$  (незаштрихованная часть импульсов) и интегральная составляющая (заштрихованная часть). Увеличение длительности импульсов происходит за счет роста интегральной составляющей, которая зависит от рассогласования  $E_i$  и коэффициента  $\tau_{ин}$ .



▲ Выходной сигнал ПИ-регулятора и длительность управляющих импульсов при различных значениях  $\tau_{ин}$  и  $E = 10$

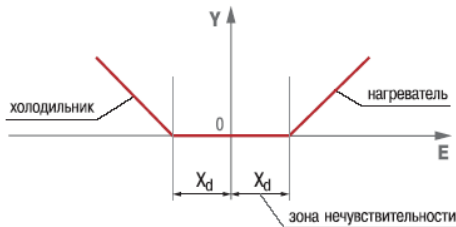
**Зона нечувствительности  $X_d$**

Для исключения излишних срабатываний регулятора при небольшом значении рассогласования  $E_i$  для вычисления значений  $Y_i$  используется уточненное значение  $E_p$ , вычисленное в соответствии с условиями:

- если  $|E_i| \leq X_d$ , то  $E_p = 0$ ;
- если  $E_i > X_d$ , то  $E_p = E_i - X_d$ ;
- если  $E_i < -X_d$ , то  $E_p = E_i + X_d$ ;

где  $X_d$  – зона нечувствительности.

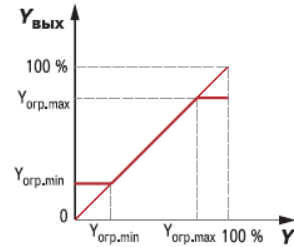
Прибор будет выдавать управляющий сигнал только после того, как регулируемая величина выйдет из этой зоны. Зона нечувствительности не должна превышать необходимую точность регулирования.



**Ограничение управляющего сигнала**

Так как рабочий диапазон исполнительного механизма всегда ограничен, для выходного управляющего сигнала  $Y_{\text{вых}}$  задаются ограничения в виде максимального и минимального значений. Если выходной сигнал регулятора  $Y$  превышает заданную величину  $Y_{\text{огр.max}}$ , то на исполнительное устройство выдается сигнал  $Y_{\text{огр.max}}$ , если сигнал меньше заданной величины  $Y_{\text{огр.min}}$ , то выдается сигнал  $Y_{\text{огр.min}}$ .

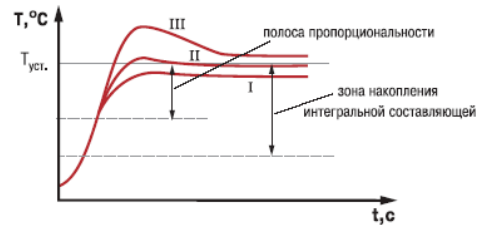
Кроме того, в некоторых регуляторах можно задать скорость изменения выходного сигнала, что позволяет избежать резких воздействий на исполнительные устройства.



**Зона накопления интеграла**

Если рассогласование  $E$  долго сохраняет знак, величина интегральной составляющей становится очень большой (эффект интегрального насыщения), что может привести к перерегулированию.

Для устранения влияния этого эффекта задают зону накопления интеграла, в пределах которой регулятор вычисляет интегральную составляющую. За пределами этой зоны, где интегральная сумма слишком велика, для формирования управляющего сигнала используется только пропорциональная составляющая. В зависимости от режима работы регулятора (нагреватель или холодильник), эта зона расположена выше или ниже уставки. Если регулятор управляет задвижкой без датчика положения, значение этого параметра не влияет на работу регулятора.

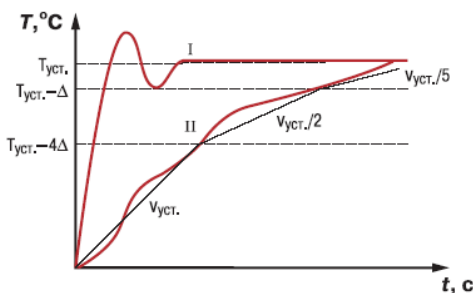


- I – П-регулятор
- II – ПИ-регулятор с ограничением накопления интегральной составляющей
- III – ПИ-регулятор без ограничения интегральной составляющей

**Ограничение скорости выхода на уставку**

Ограничение скорости выхода контролируемой величины на заданное значение используется для предотвращения перерегулирования при запуске системы (кривая I). Фиксированное значение уставки заменяют на «плавающее», которое постепенно приближают к значению  $T_{\text{уст}}$  (кривая II). Приближение происходит сначала со скоростью  $v_{\text{уст}}$ , затем скорость постепенно уменьшается (см. рис.). Рекомендуемое значение  $v_{\text{уст}}$  определяется прибором при автонастройке и обеспечивает первоначальную величину перерегулирования (первого «выбега») не более  $\Delta$ .

При использовании скорости выхода на уставку возрастает время выхода на рабочий режим. Поэтому если задержка приводит к неудовлетворительным результатам, нужно увеличить  $v_{\text{уст}}$  или отключить действие параметра.



**Период управляющих импульсов  $T_{\text{сл}}$**

При использовании ПИД-регулятора с выходным устройством ключевого типа (э/м реле, транзисторная или симисторная оптопара) необходимо устанавливать период управляющих импульсов. Чем выше частота управляющих импульсов (т. е. меньше период  $T_{\text{сл}}$ ), тем быстрее реакция регулятора на внешние возмущения.

В идеале частота импульсов управления должна совпадать с частотой опроса датчика. Однако, если при использовании на выходе ПИД-регулятора электромагнитного реле или пускателя установить слишком большую частоту (т. е. слишком низкое значение  $T_{\text{сл}}$ ), то частые переключения приведут к быстрому износу силовых контактов. Поэтому значение  $T_{\text{сл}}$  приходится увеличивать, но необходимо понимать, что качество регулирования при этом может ухудшиться.

При использовании в качестве выходных устройств электронных ключей (транзисторных или симисторных оптопар) проблемы износа контактов не возникает и значение  $T_{\text{сл}}$  можно установить равным периоду опроса датчика (например, для ТРМ101 1...2 с).

Автонастройка позволяет определять значение  $T_{\text{сл}}$ , которое не будет оказывать отрицательного влияния на работу системы.

Для поддержания заданного значения регулируемого параметра при работе ЛУ в режиме «Регулятор» можно использовать разные типы исполнительных устройств, но все они могут быть условно разделены на две группы:

- ▶ нагреватели;
- ▶ холодильники.

**Нагревателем** условно называют устройство, включение которого должно приводить к увеличению значения измеряемого параметра.

**Холодильником** называют устройство, включение которого должно приводить к уменьшению значения измеряемого параметра.

Кроме того, в некоторых ПИД-регуляторах ОВЕН существует специальный режим для управления устройствами типа «завдвижка». Завдвижка, в свою очередь, тоже может управлять либо нагревателем, либо холодильником.

**Нагреватель («обратное» управление)**

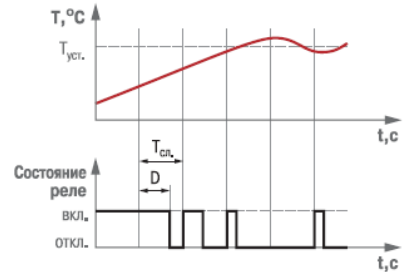
Управление процессом с помощью устройств типа «нагреватель» называют также «обратным», так как с увеличением значения регулируемого параметра уменьшается значение выходного сигнала  $Y$ . Регулятор при «обратном» управлении включается при текущих значениях  $T$  меньших уставки  $T_{уст.}$  (при положительных отклонениях  $E$ ) и отключается при  $T > T_{уст.}$  (см. рисунок).

**Холодильник («прямое» управление)**

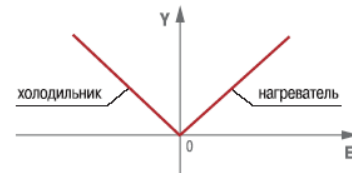
Управление процессом с помощью устройств типа «холодильник» называют также «прямым», так как с увеличением значения регулируемого параметра увеличивается значение выходного сигнала  $Y$ . Регулятор при «прямом» управлении включается при текущих значениях  $T$  больших уставки  $T_{уст.}$  (при отрицательных отклонениях  $E$ ) и отключается при  $T < T_{уст.}$

**Одновременное управление нагревателем и холодильником**

Для поддержания регулируемой величины регулятор может одновременно управлять двумя исполнительными устройствами – нагревателем и холодильником. Если в момент включения регулятора значение регулируемого параметра меньше уставки, регулятор включает нагреватель и использует это устройство до тех пор, пока величина выходного сигнала  $Y$  не поменяет знак на противоположный. После этого регулятор включает холодильник.



▶ Выходной сигнал регулятора и временная диаграмма выходного реле при ШИМ-управлении нагревателем



▶ Управление нагревателем и холодильником

**Особенности работы ПИД-регулятора при управлении задвижкой (позиционно-пропорциональное регулирование)**

Устройство типа «завдвижка» имеет электрический привод и две пары контактов для управления направлением его вращения. При подаче управляющих сигналов на первую пару контактов задвижка перемещается в одну сторону, например открывается, при подаче импульсов на вторую – закрывается.

Если задвижка имеет датчик положения, то регулятор вычисляет положение задвижки в процентах ( $Y_i$ ) и перемещает задвижку в нужное положение. При вычислении  $Y_i$  в формулу для ПИД-регулятора (см. выше) вносятся коррективы. Считается, что двигатель задвижки – это «интегрирующее звено», и регулятором производится дополнительное дифференцирование выходного сигнала. В этом случае постоянная времени дифференцирования  $\tau_d$  не учитывается, даже если она была ранее установлена. Пропорциональная и интегральная составляющие действуют так же, как при управлении нагревателем (холодильником).

Если датчик положения отсутствует, то регулятор вычисляет среднюю скорость перемещения задвижки  $v_{ср.}$  по формуле:

$$v_{ср.} = \frac{1}{X_p} \cdot \left[ \Delta E_i + \frac{1}{\tau_{и}} \cdot E_i \right],$$

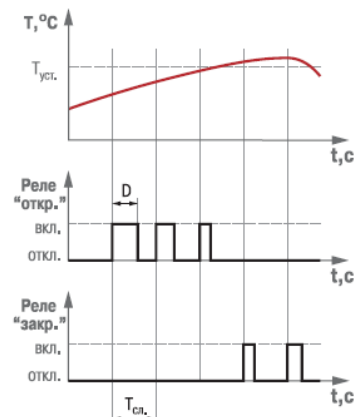
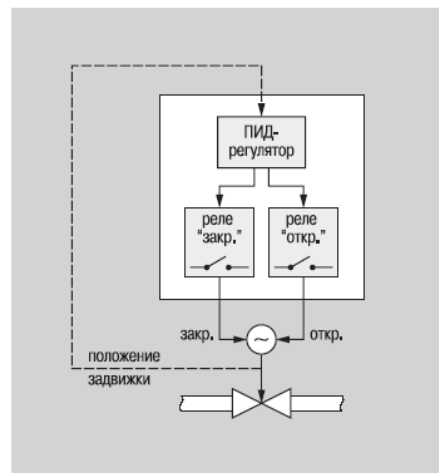
- где  $X_p$  – полоса пропорциональности;
- $E_i$  – отклонение;
- $\Delta E_i$  – разность между двумя соседними измерениями  $E_i$  и  $E_{i-1}$ ;
- $\tau_{и}$  – постоянная времени интегрирования.

Если  $v_{ср.} < 0$ , то сигнал выдается на контакты реле «закр.»; если  $v_{ср.} > 0$ , то на реле «откр.». Длительность управляющих импульсов при этом определяется по формуле:

$$D = v_{ср.} \cdot T_{сл.},$$

- где  $D$  – длительность импульсов;
- $T_{сл.}$  – период следования импульсов.

Завдвижка может работать и в режиме нагревателя, и в режиме холодильника. На рисунке показана диаграмма работы выходных реле при работе задвижки в режиме нагревателя.



### 3.3 Описание системы регулирования

Структурная схема системы регулирования (рисунок 3.1) содержит регулятор ТРМ 151-03, электродвигательный механизм ИМ типа МЭО 16/63-0,63 соединенный с валом лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), выполняющего функцию регулирующего органа (РО). Напряжение с выхода ЛАТР поступает на нагревательный элемент – лампу накаливания теплового объекта. На объекте установлен датчик – ТСМ 50М ( $W_{100}=1,428$ ).

МЭО 16/63-0,63 – механизм электрический однооборотный с номинальным крутящим моментом 16 Нм, временем хода выходного вала 63с и с номинальным ходом вала 0,63 от полного оборота, т.е.  $225^0$  (см. приложение 3.2).

МЭО 16 снабжен блоком сигнализации положения токовым типа БСПТ 10, преобразующим положение выходного вала в пропорциональный выходной сигнал (0...5, 0...20 или 4...20 мА), поступающий на вход 2 регулятора. В корпусе МЭО имеются 4 пары микропереключателей: (S1-М, S2-М, S3-М и S4-М), каждый из которых имеет замыкающий и размыкающий контакт. Два микропереключателя S1-М и S2-М используются в системе. S3-М и S4-М – не задействованы в работе. Размыкающие контакты S1-М и S2-М используются для отключения двигателя  $M_1$  при достижении крайних положений РО. При этом срабатывают и их замыкающие контакты для включения светодиодов VD<sub>5</sub> (100%) и VD<sub>6</sub> (0%).

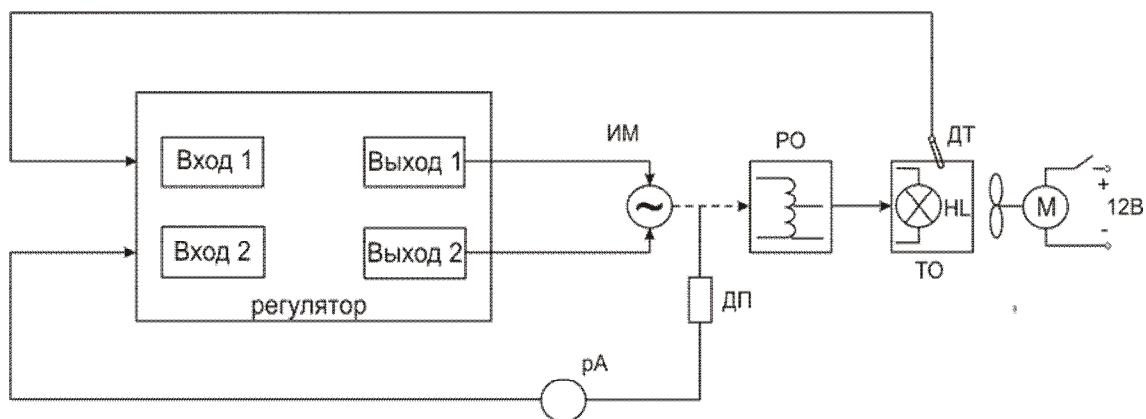


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы регулирования

ИМ – исполнительный механизм типа МЭО 16; РО – регулирующий орган – ЛАТР; ДП – датчик положения регулирующего органа (БСПТ-10); ТО – тепловой объект; М – мотор вентилятора; ДТ – датчик температуры (термометр сопротивления); рА – миллиамперметр для регистрации сигнала с ДП.

Принципиальная схема системы изображена на рисунке 3.2. Питание на объект с ИМ и РО подается тумблером S1. трехпозиционный двухсекционный переключатель S2 в положении А (автоматический режим) соединяет объект с регулятором. Светодиоды VD<sub>1</sub> и VD<sub>2</sub> загораются при поступлении сигналов от ТРМ «Больше» и «Меньше». В положении переключателя в режиме Р (ручное управление) или «Стоп», светодиоды VD<sub>1</sub> и VD<sub>2</sub> не работают. В режиме Р с помощью S3 и S4 можно менять положе-

ние РО («Больше» или «Меньше»). При достижении крайних положений РО загораются светодиоды VD<sub>5</sub> (100% хода) или VD<sub>6</sub> (0% хода). С помощью S<sub>6</sub> можно имитировать короткое замыкание (КЗ) линии датчика ТСМ. Тумблером S<sub>5</sub> можно полностью отключать нагрев ТО.

Регулятор ТРМ 151-03 установлен на лицевой панели стенда.

Питание на прибор от сети ~220 В подается с помощью выключателя S<sub>11</sub>.

Все клеммы регулятора (№1...16) выведены на разъем XI, к которому подведены провода от объекта управления, питания прибора и интерфейс RS485. Клеммы ИМ расположены в разьеме X2.

Внешний вид объекта с ИМ и РО представлен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Фото объекта регулирования

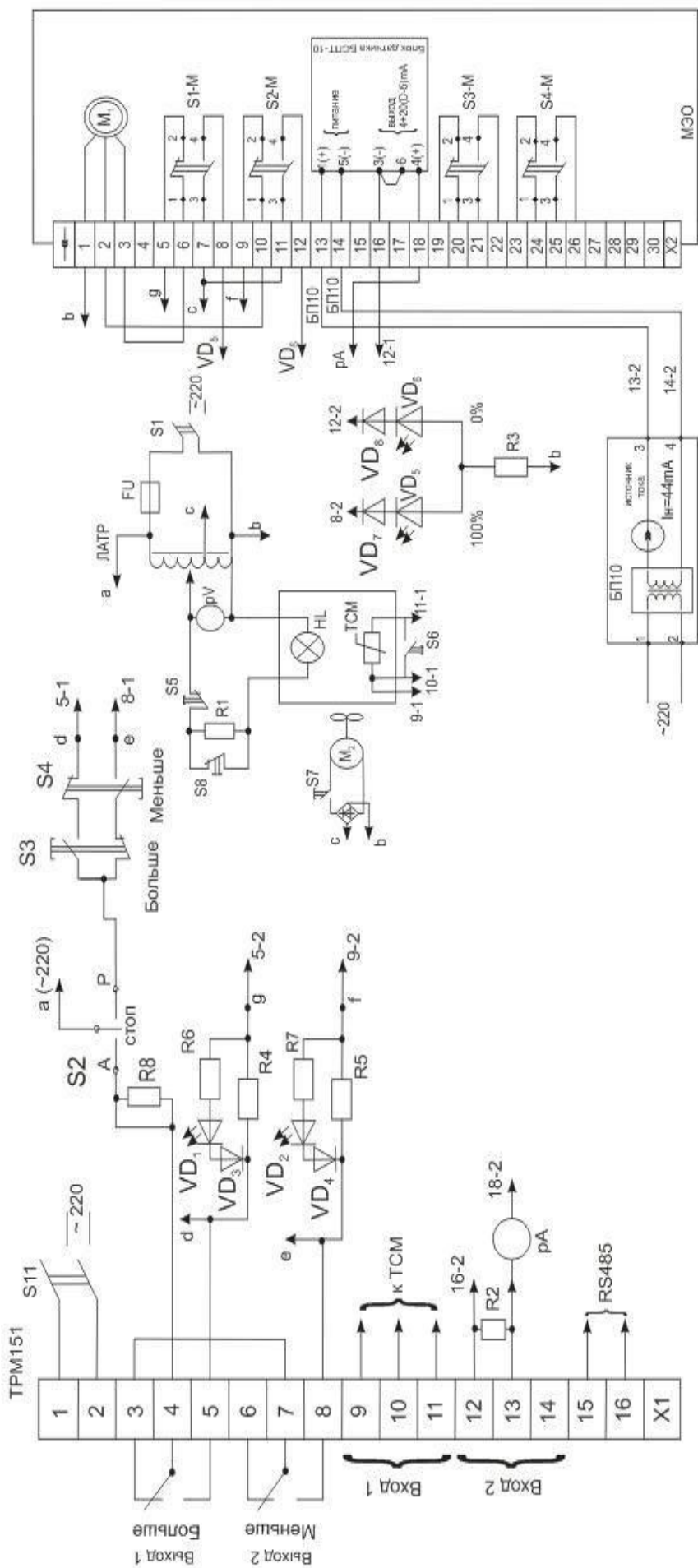
### 3.4 Порядок проведения работы

3.4.1. Программирование регулятора с помощью кнопок на лицевой панели прибора.

Регуляторы, установленные по одному на каждом стенде, уже имеют конфигурацию для конкретного объекта управления.

Поэтому в учебных целях следует освоить:

- символы на цифровых индикаторах (стр. 56 приложения 3.1);
- работу с кнопками управления;
- вход в режим программирования и главное меню;
- вход в папки с параметрами, перемещения между параметрами в папке;



Принципиальная схема системы регулирования

$R_1 - 20 \text{ Ом}$ ;  $R_2 - 100 \pm 1 \text{ Ом}$ ;  $R_3 - 1 \text{ кОм}$ ;  $R_4 = R_5 - 10 \text{ Ом}$ ;  $R_6 = R_7 - 430 \text{ Ом}$ ;  $R_8 - 4.3 \text{ кОм}$ ;  $2 \text{ Вт}$ ;  $S_1 - \text{сеть } \sim 220 \text{ В}$  (установлен на объекте);  $S_2 - \text{режим (Автом.-Стоп Ручн)}$ ;  $S_3 - \text{в режиме Р «Больше»}$ ;  $S_4 - \text{в режиме Р «Меньше»}$ ;  $S_5 - \text{нагрев печи}$ ;  $S_6 - \text{имитация КЗ датчика}$ ;  $S_7 - \text{возмущение по нагрузке}$ ;  $S_8 - \text{возмущение по каналу РВ}$ ;  $S_{11} - \text{сеть } \sim 220 \text{ В}$  (установлен на стенде);  $VD_1 - \text{светодиод «Больше»}$ ;  $VD_2 - \text{светодиод «Меньше»}$ ;  $VD_3, VD_4, VD_7, VD_8 - \text{диоды (1А, 1000В)}$ ;  $VD_5 - \text{светодиод «100\%»}$ ;  $VD_6 - \text{светодиод «0\%»}$ ;  $M_1 - \text{электродвигатель МЭО}$ ;  $M_2 - \text{электродвигатель вентилятора}$ ;  $HL - 40 \text{ Вт}$ ;  $220 \text{ В}$ ;  $FU - 5 \text{ А}$ ;  $S_1-M, S_2-M, S_3-M, S_4-M - \text{установлены в МЭО}$ .

- схемы задания параметров;
- расчет параметров предварительной настройки регулятора по результатам работы №2 (стр. 94 приложение 3.1);
- приемы цифровой фильтрации внешних помех (стр.89 приложение 3.1);
- юстировку датчика положения задвижки (стр. 98 приложение 3.1);
- освоить установку программы технолога. По указанию преподавателя установить 2÷3 программы по 2-3 шага в каждой (приложение 3.1)

При выполнении этих операций необходимо выполнить просмотр всех параметров по всем папкам, записать их значения и сверить с запланированными для конкретного объекта (типы датчиков, частота опроса, тип вычислителя и др.).

По указанию преподавателя самостоятельно установить требуемую программу технолога и, переведя регулятор в рабочий режим, запустить систему автоматического регулирования температуры.

При выходе регулируемого параметра на заданное значение установки переключателями S7 или S8 нанести возмущения. Например, на 1<sup>ом</sup> шаге – по каналу регулирующего воздействия (S8), на 2<sup>ом</sup> шаге – по нагрузке (S7). Наблюдать при этом за поведением регулятора.

3.5. Отчет должен содержать этапы программирования прибора и значения установленных параметров в символах цифровых индикаторов, расположенных на лицевой панели прибора.

### 3.6. Рекомендуемая литература

1. Минаев, И.Г. Теория автоматического регулирования : учебное пособие / И.Г. Минаев. - Ставрополь : «АГРУС», 2004. – 174 с.
2. Денисенко, В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // Современные технологии автоматизации. - 2007. - №4. - С.86-97.

### Список используемых приложений:

- Приложение 3.1. Руководство по эксплуатации прибора ТРМ-151.
- Приложение 3.2. Техническое описание МЭО 16/63-0,63.

## Вопросы для самоконтроля

1. Назначение ПИД-регулятора.
2. Меры безопасности при работе с прибором.
3. Типы датчиков, применяемых с ТРМ 151.
4. Типы выходных устройств регулятора.
5. Возможности программы технолога в ТРМ 151.
6. Назначение цифровой фильтрации и коррекции измерений.
7. Параметры настройки ПИД-регулятора.
8. Экспериментальное определение предварительной настройки регулятора.
9. Принцип реализации ПИД-алгоритма в цифровой форме.
10. Аварийные ситуации в работе регулятора и их возможные причины.
11. Полоса пропорциональности ПИД-регулятора.
12. Принцип ШИМ при формировании:
  - а) пропорционального регулирования (П-закон);
  - б) пропорционально-интегрального регулирования (ПИ-закон);
  - в) пропорционально-дифференциального регулирования (ПД-закон).

## Лабораторная работа №4

### Применение программируемого логического контроллера (ПЛК) в системах автоматике

#### 1. Введение

4.1. Для исследования применяется ПЛК 100 24RL ОВЕН, имеющий 8 дискретных входов и 6 дискретных выходов. Основные характеристики этого ПЛК взяты из каталога фирмы ОВЕН. В приложении №4.1 имеется технический паспорт и руководство по эксплуатации прибора. В приложении №4.2 даны краткие сведения по CoDeSys.

#### 4.2. Цель работы:

- ознакомиться с технической документацией на ПЛК 100;
- освоить методы безопасной эксплуатации прибора;
- ознакомиться со средой программирования CoDeSys V2.3, отвечающей стандартам Международной электротехнической комиссии (МЭК 61131-3);
- ознакомиться с набором основных компонентов (контакты, реле, триггеры, таймеры, счетчики) и приемами проектирования многоступенчатых схем на языке LD;
- освоить приемы проверки работоспособности созданных виртуальных схем в режиме эмуляции;
- освоить приемы записи программы в контроллер;
- освоить приемы управления технологическим процессом непосредственно через ПЛК;
- освоить работу ПЛК в сети для управления «удаленным» объектом.

#### 4.3. Краткие сведения о ПЛК

ПЛК представляет собой **конечный (дискретный)** автомат, имеющий конечное количество входов и выходов, подключенных посредством датчиков, ключей, исполнительных механизмов к объекту управления, и предназначенный для работы в режимах реального времени.

Термином «промышленный контроллер» обозначают специализированное микропроцессорное устройство со встроенным аппаратным и программным обеспечением, которое используется для выполнения функций управления технологическим оборудованием. После изобретения микропроцессоров их развитие определялось классом задач, для которых они использовались. Таким образом, появилось такие ветви генеалогического дерева микропроцессоров: ПЛК, регуляторы и ЭВМ. Прародителями ПЛК были релейные схемы автоматике. Это «родство» до сих пор проявляется в виде жесткой цикличности выполнения программы и своеобразного языка программирования – языка «релейно-контактных схем» или «лестничной логики», называемого LD (Ladder Diagram).

ПЛК в общем виде состоит из трех основных блоков: блоков питания, процессорного модуля и системы ввода/вывода внешних сигналов. Процессорный модуль управляет всей логикой работы ПЛК и делится на процессор и память.

Система ввода/вывода физически подключается к, так называемым, полевым устройствам (реле-усилители, выключатели, пускатели, датчики и т.д.) и обеспечивает интерфейс между процессорным модулем и информационными (входными) и управляющими (выходными) каналами.

При работе процессор «читает» входные данные с подключенных полевых устройств с помощью своих входных интерфейсов, и затем выполняет управляющую программу, которая загружена в память процессорного модуля. Программы обычно разрабатываются на языке релейной логики, который очень похож на схемы релейной автоматики, и должны быть загружены в память контроллера до начала его работы.

Наконец, на основании программы ПЛК «записывает» или обновляет управляющие выходы через выходные интерфейсы. Этот процесс постоянно выполняется в одной и той же последовательности без остановки и изменяется только тогда, когда вносятся изменения в управляющую программу.

ПЛК обычно управляют машинами или процессами последовательными по своему происхождению, используя «дискретные» входы и выходы для определения состояния объекта. Например, если концевой выключатель определяет наличие детали, то он переходит в состояние «ВКЛЮЧЕНО», а если не обнаруживает деталь, то выдает сигнал «ВЫКЛЮЧЕНО».

Машина или устройство постоянно выполняет predeterminedенные последовательные действия либо на основании событий, либо по истечению заданного времени. Предполагаемая последовательность действий обычно прерывается только тогда, когда возникает аварийная ситуация.

ПЛК может также управлять непрерывными процессами, т.е. принимать и выдавать аналоговые сигналы. Подобные применения называют также непрерывными приложениями, поскольку они обычно не имеют определенного начала или конца. Как только подобный алгоритм инициализируется, ПЛК должен поддерживать обслуживаемый процесс в «устойчивом» состоянии.

Для классификации современных ПЛК обычно используют количество входов/выходов, а также указывают некоторые конструктивные характеристики и типы приложений, в которых данный контроллер может использоваться. Нано- и микро-, немодульные мини-ПЛК (также известные как моноблочные) обычно имеют меньшую память и малое число входов/выходов в фиксированных конфигурациях. Модульные ПЛК имеют каркасы или стойки для установки в них многочисленных модулей ввода/вывода и могут использоваться для более сложных приложений.

Работа ПЛК называется прогоном программы, а период цикла – временем прогона, которое зависит от размера программы и быстродействия

процессора. В среднем время прогона обычно составляет 10 – 50 мс, что соответствует 2 – 5 мс на килобайт программы.

В течение прогона программы выходные данные временно не изменяются. ПЛК сначала отводит для этих данных определенную область памяти, и только в конце прогона программы *все* выходные данные *обновляются одновременно*. Следовательно, цикл работы таков: чтение входных данных, прогон программы, обновление выходных данных.

Входные данные считываются в соответствующую виртуальную область в начале прогона программы, а обновление выходных данных производится из аналогичной виртуальной области в конце прогона. Имеется также область памяти, зарезервированная для внутренних сигналов, используемых программой, но не связанных непосредственно с внешним миром (сигналы таймеров, счетчиков, биты памяти, например, отведенные для сигналов неисправности и т.д.)

Время прогона программы ограничивает «скорость» реакции управляющего воздействия ПЛК на объект. В общем случае, любой входной сигнал, воспринимаемый ПЛК, должен иметь длительность больше, чем время прогона.

В большинстве практических приложений задержка реакции ПЛК в несколько десятков миллисекунд не является существенной (включение – выключение двигателя, нагревателя и т.д.).

### Релейные диаграммы LD

Язык LD (Ladder Diagram), т.е. язык релейных диаграмм является достаточно популярным в силу своей наглядности и позволяет решать широкий круг задач комбинационной и событийно-управляемой логики.

Схемы на LD называют также многоступенчатыми, т.к. их цепи напоминают ступеньки вертикальной лестницы.

При написании программы на листе бумаге или сразу на мониторе ПК используются две вертикальные линии, изображающие шины питания, между которыми размещаются горизонтальные цепи, состоящие из воображаемых контактов и катушек реле, функциональных блоков FB. По меньшей мере хотя бы один контакт и одна катушка реле служат реальными входом и соответственно выходом ПЛК.

Так, например, реальная релейная схема управления электрическим двигателем (рисунок 4.1), содержащая кнопки пуска SB1 и остановки SB2, катушку KM магнитного пускателя, имеющего блок-контакт KM1 для самофиксации включенного состояния и контакты KM2 для подачи питания на двигатель M, на языке LD в комплексе CoDeSys будет иметь вид, как показано на рисунок 4.2.

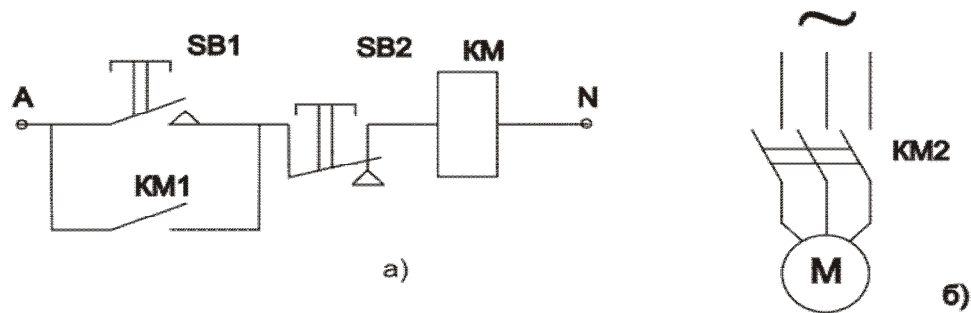


Рисунок 4.1 – Контактная схема управления (а) с электрическим двигателем (б)

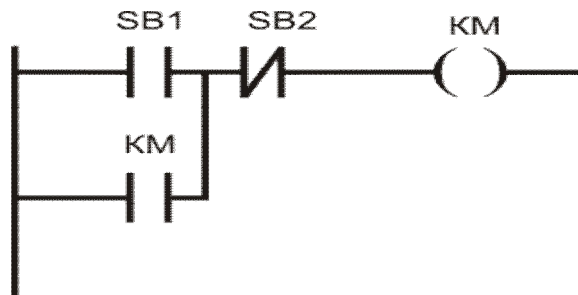


Рисунок 4.2 – Многоступенчатая схема в LD управления электрическим двигателем

Если реальное реле имеет ограниченное количество замыкающих, размыкающих и переключающих контактов, то в LD таких ограничений нет, и виртуальные контакты могут применяться в любой цепи в любом количестве.

Каждая цепь заканчивается «катушкой» реле. **Последовательно** соединять катушки нельзя. **Параллельно** – можно.

Каждому элементу цепи (контакту, катушке, функциональному блоку) присваивается **имя**, которое на **английском** языке пишется **над** элементом.

Во всех цепях одной схемы имя логической переменной контактов одного и того же реле должно сохраняться. Имя может быть однобуквенным (X, Y, Z и т.д.), иметь цифровые индексы (X1, X2 и т.д.), вписываемые без **пробела**.

Но цифру на первое место ставить нельзя: 1X, 2X – неправильно!

Нельзя применять в качестве имени буквы «S» и «R». С индексами, например R1, S2 или в сочетании с другими буквами (stop, reset, SK, RU и т.д.) – можно.

Регистр букв не влияет на работу ПЛК. Так имена «SET» и «Set» воспринимаются одинаково.

В сложных схемах трудно запомнить назначение того или иного элемента при упрощенной (однобуквенной) системе идентификации. Поэтому имя переменной (т.е. ее идентификатор) можно записать в развернутом виде, не используя буквы русского языка.

Например, если есть трудности с английским языком, можно присвоить русские имена «Dvigatel», «pusk», «BLOKIROVKA» и т.д.

Начинаям даже простую схему лучше изобразить на бумаге, а затем переносить в LD.

### Контакты и катушки реле

Помимо «обычных» реле —( )— можно применять аналог поляризованного реле, обозначаемого на схеме —( / )—.

Это реле может иметь сколько угодно замыкающих и размыкающих контактов, но логика их действия противоположна состоянию контактов обычного реле: при отсутствии тока в —( / )— замыкающий контакт —|— замкнут, размыкающий —|/|— - разомкнут. При подаче питания в катушку —( / )— состояние его контактов меняется на противоположное.

Воображаемый аналог такого реле можно изготовить на базе переключающего геркона (рисунок 4.3)

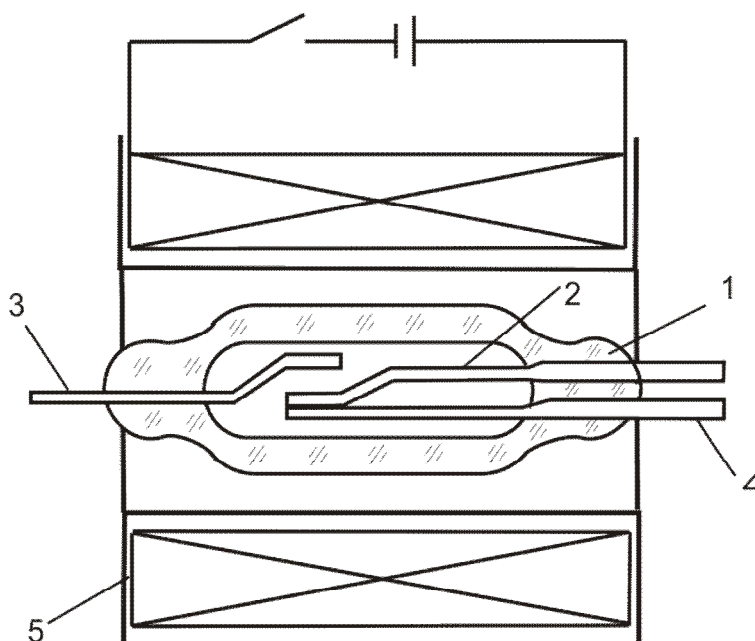


Рисунок 4.3 – Устройство герконового реле

В нормальном состоянии подвижный контакт 2 замкнут с неподвижным контактом 4, выполненным из немагнитного металла. При пропускании тока через обмотку катушки 5 замыкаются контакты 2 и 3 и размыкаются контакты 2 и 4, т.е. реле работает в обычном режиме.

Если в катушку поместить постоянный магнит (рисунок 4.4), то при отсутствии тока в катушке 5 подвижный контакт 2 замкнет цепь с контактом 3 и разорвет цепь с контактом 4.

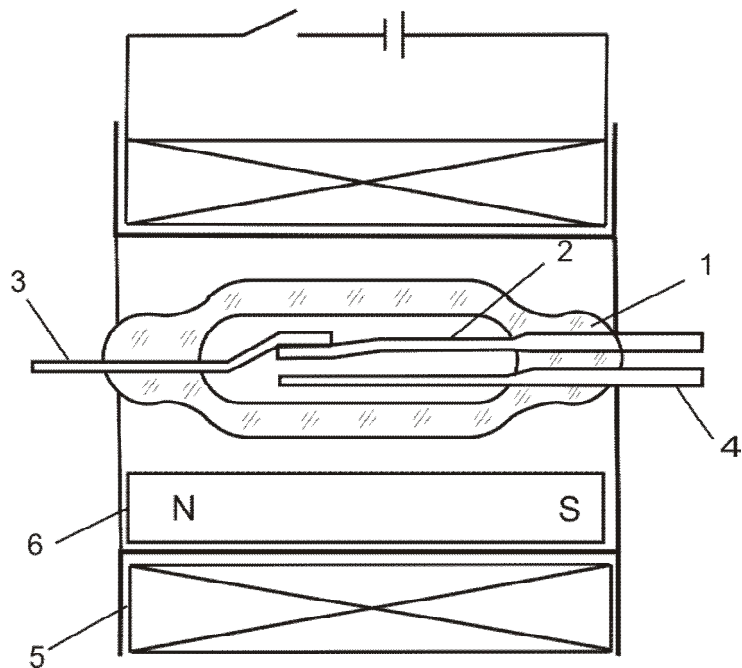


Рисунок 4.4 – Устройство поляризованного герконового реле

В таком состоянии реле может находиться сколь угодно. При подаче тока *размагничивания* в катушку 5 магнитное поле постоянного тока (при правильном выборе полярности) скомпенсирует магнитное поле постоянного магнита 6 и контакт 2 вернется в исходное положение.

С использованием нормального реле —( )— и инверсивного реле —(/)— можно собрать генераторы (рисунок 4.5).

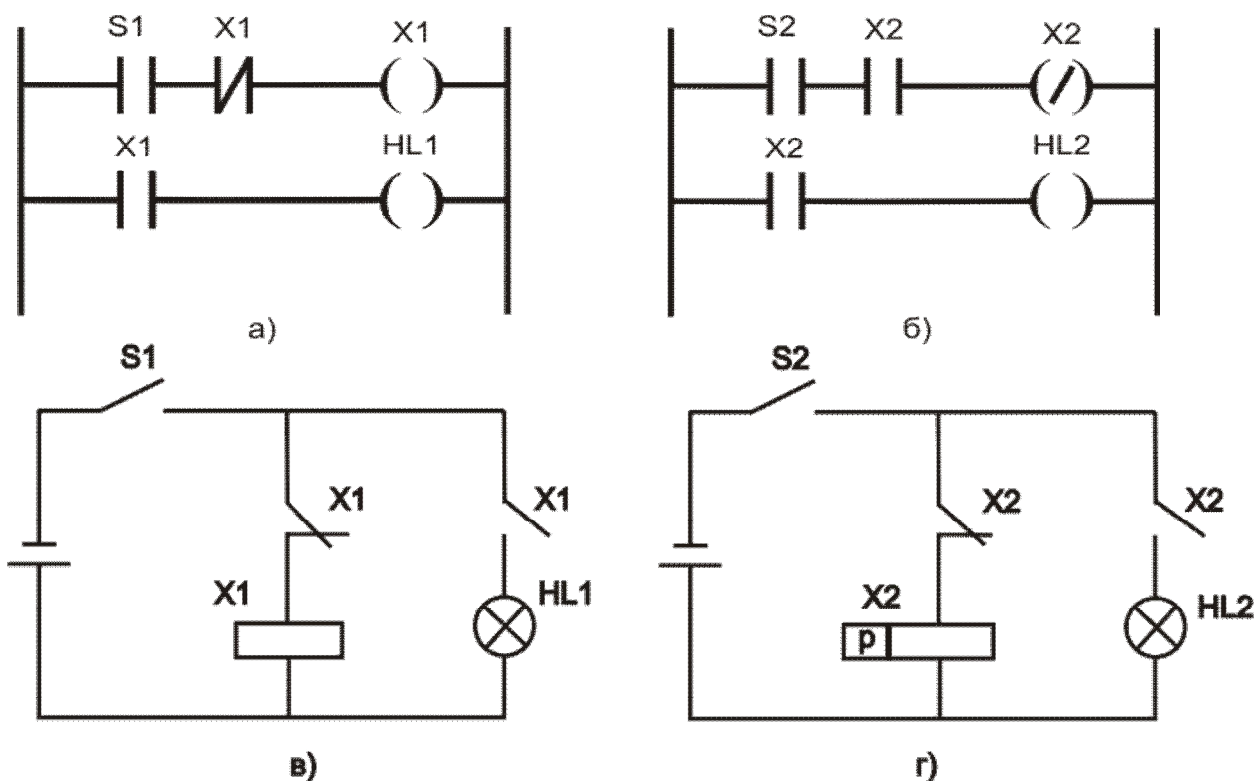


Рисунок 4.5 – Простейшие генераторы импульсов (а и б) и их релейные аналоги (в и г): S1 и S2 – кнопки пуска, HL1 и HL2 – приемники импульсов

В наборе программных компонентов имеются также специальные обмотки SET и RESET, обозначенные в линейке кнопок как —(S)— и —(R)— соответственно. С их помощью можно фиксировать условия управления исполнительным механизмом.

Если обмотка S «сработает», т.е. примет значение ИСТИНА (TRUE), то изменить это состояние на противоположное, т.е. ЛОЖЬ (или FALSE) можно лишь с помощью обмотки R (рисунок 4.6).

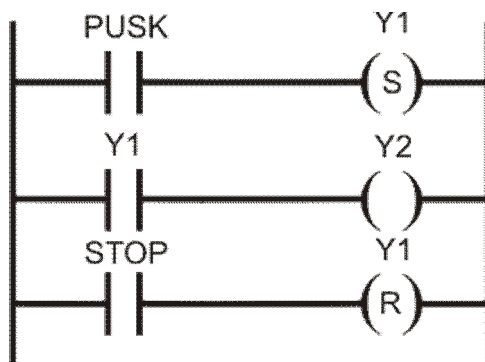


Рисунок 4.6 – Схема фиксации включения катушки реле Y2 с помощью обмоток S и R

Эта схема работает как классический RS триггер: при кратковременном нажатии кнопки PUSK срабатывает катушка S, которой присвоим имя Y1, и своим контактом Y1 включает нагрузку-катушку реле Y2. Выключить реле Y2 можно только нажатием кнопки STOP.

Одновременное нажатие на PUSK и STOP как и в классическом RS триггере недопустимо.

Следует заметить, что катушкам R и S присвоено одно и то же имя! В нашем примере Y1.

Эту же задачу самофиксации можно выполнить и на обычном реле (рисунок 4.7).

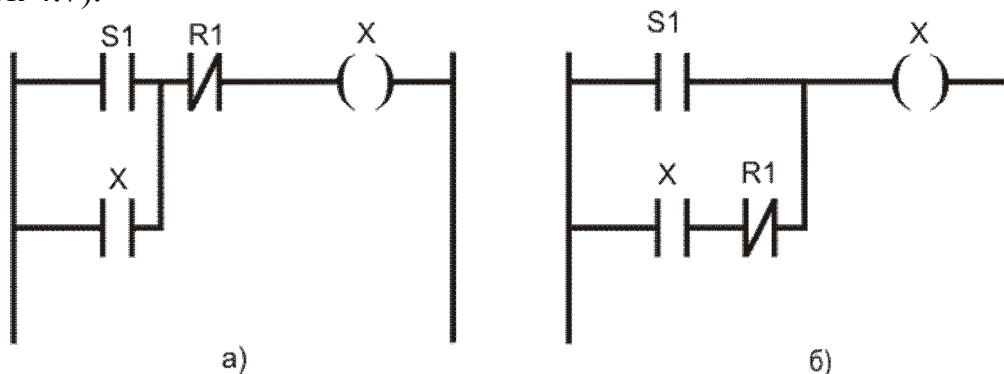


Рисунок 4.7 – Схемы управления катушкой X с самофиксацией состояния

При кратковременном нажатии на кнопку S1 происходит срабатывание реле X, которое своим контактом X фиксирует это состояние. Отключение реле X возможно только нажатием на кнопку R1.

«Бестолковый» оператор может нажать сразу две кнопки S1 и R1. Что происходит в этом случае?

В схеме а) катушка X **отключится** (если она была включена) или останется не включенной. В схеме б) катушка X **включится** (если она была отключена) или останется включенной.

В CoDeSys этим схемам созданы соответствующие аналоги: RS - триггер с доминантой выключения – для схемы рисунке 4.7-а и SR – триггер с доминантой включения – для схемы рисунке 4.7-б.

### Триггеры

RS – и SR – триггеры отличаются лишь реакцией сигналов, поступающих одновременно на оба входа: SET и RESET. Напоминаем, что для классического RS – триггера такое состояние входов является запрещенным, т.к. приводит к неоднозначности выходного сигнала.

Для исследования этих триггеров достаточно набрать лишь два фрагмента каких-то сложных многоступенчатых схем, в которых участвуют указанные функциональные блоки. (Сами схемы нас не интересуют!). На рисунке 4.8-а и 4.8-б изображены фрагменты схем с RS – и SR – триггерами.

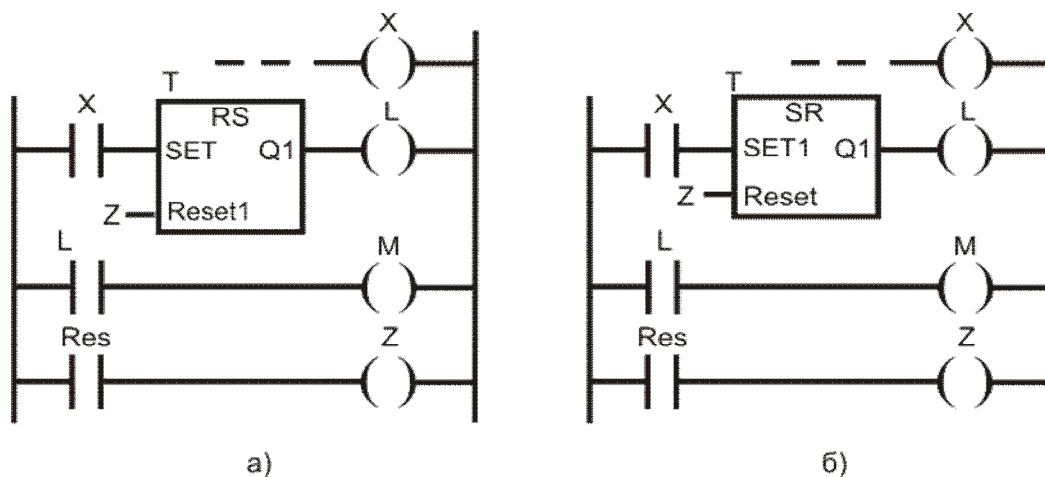


Рисунок 4.8 – Фрагменты схем с RS – и SR – триггерами

При замыкании контакта X подается сигнал на вход SET каждого из триггеров (рисунок 4.8), что вызывает срабатывание реле L и через замыкающий контакт L этого реле приходит сигнал на обмотку реле M, включающего, например, электрическую машину. Последующие размыкания или замыкания контакта X не меняет состояние выходов этих триггеров, и катушки L и M остается включенными. Для отключения реле M необходимо кратковременно нажать кнопку Res.

Если одновременно замкнутся контакты X и Res, то в RS – триггере преобладающим будет сигнал на отключение L и соответственно M, а в SR – триггере – на включение этих реле.

Необходимо напомнить, что входу RESET этих триггеров необходимо присвоить идентификатор (имя) того реле, которое будет обеспечивать сброс. В нашем примере в третьей цепи каждого фрагмента (рисунок 4.8)

стоит реле с именем «Z». Поэтому на входах RESET поставлен тот же символ – «Z».

Функциональные блоки R\_TRIG и F\_TRIG или детекторы импульсов. Первый из них генерирует одиночный импульс по переднему фронту, а другой – по заднему спаду входного сигнала (рисунки 4.9а и б).

### Таймеры

Три типа таймеров находят широкое применение:

**TP** таймер или генератор одиночного импульса заданной длительности;

**TOF** таймер с задержкой выключения;

**TON** таймер с задержкой включения.

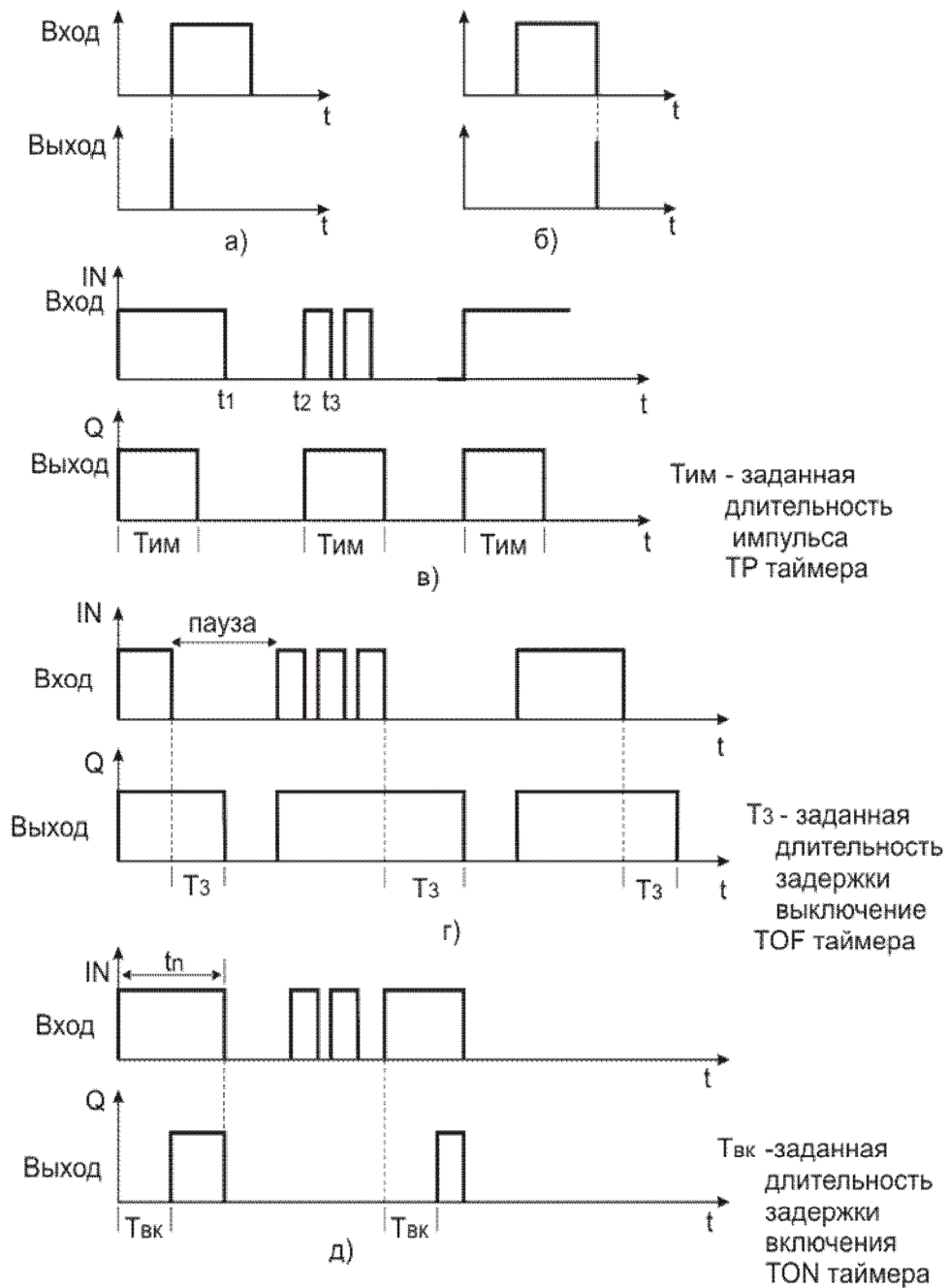


Рисунок 4.9 – Временные диаграммы детекторов импульсов и таймеров: а) R\_TRIG; б) F\_TRIG; в) TP; г) TOF; д) TON

У этих таймеров есть вход IN для логических сигналов, вход PT для установки требуемых временных параметров и логический выход Q.

Работу этих таймеров поясняют временные диаграммы (рисунок 4.9). Покажем лишь временные диаграммы входных и выходных сигналов (рисунки 4.9 в, г и д).

Из этих диаграмм следует, что TP таймер запускается мгновенно передним фронтом входного сигнала и в течении времени  $T_{им}$  действия выходного сигнала не реагирует на новые импульсы, поступающие на вход IN (рисунок 4.9-в).

TOF таймер также срабатывает по фронту входа IN. Выход Q сбрасывается после спада входного сигнала с задержкой времени  $T_3$ , установленной по входу PT. **Пауза** между входными сигналами должна быть не меньше времени задержки (рисунок 4.9-г).

TON таймер срабатывает по переднему фронту входа IN, но сигнал на выходе Q появиться с задержкой  $T_{вк}$ , установленной по входу PT.

Таймер не реагирует на импульсы продолжительностью менее значения  $T_в$  (рисунок 4.9-в).

При включении любого таймера в цепь многоступенчатой схемы (рисунок 4.10) программа запрашивает имя этого функционального блока (вопросительные знаки над таймером) и временную уставку по входу PT (вопросительные знаки у входа PT).

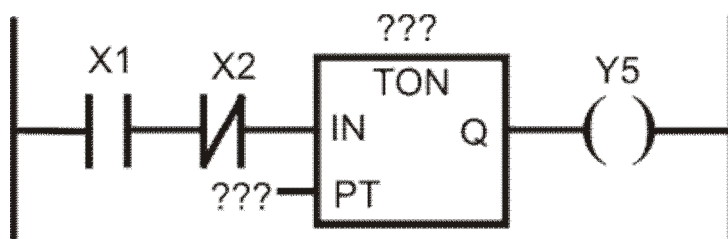


Рисунок 4.10 – Фрагмент схемы с вставленным таймером

Щелкнув 1ЛКМ по верхним ???, присваиваем имя. Например N1. Щелкнув по ??? у входа PT, нажать, и не отпуская Shift нажать T, затем #, отпустить Shift, нажать требуемое значение задержки (например 15), единицу времени (например S – т.е. секунды) и Enter. Этот фрагмент будет выглядеть, как показано на рисунке 11.

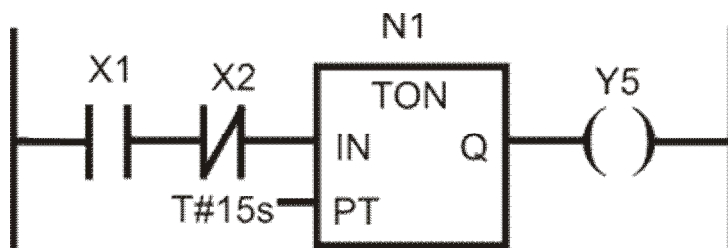


Рисунок 4.11 – Фрагмент схемы по рисунке 10 после снятия ???

Временные уставки задают в миллисекундах (mS), секундах (S), минутах (m) или часах (h). Уставка дробной не может быть. Нельзя задать T#1,5m. Следует установить T#90s.

Наличие таймера не вызывает задержки в прогоне программы.

#### 4.4 Примеры схем с таймерами и триггерами

4.4.1 Собрать схему генератора с регулируемой длительностью импульса и паузы, как показано на рисунке 4.12.

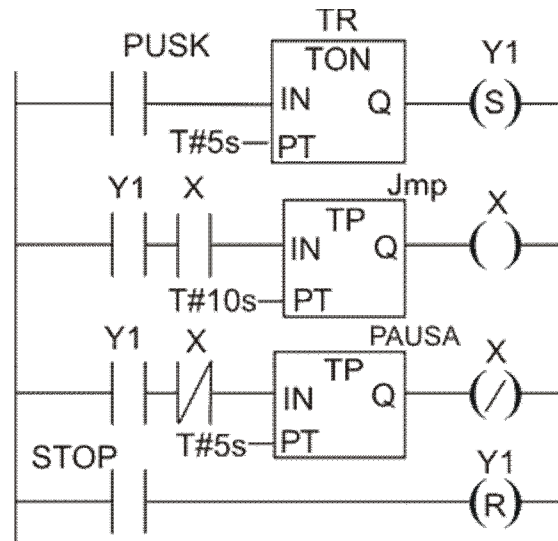


Рисунок 4.12 – Генератор импульсов

Собственно сам генератор собран на двух таймерах, которым присвоены имена Jmp и Pausa, и реле X.

Первая и четвертая цепи предназначены для пуска и остановки генератора.

Реле X является отдаленным аналогом поляризованного двухобмоточного электромагнитного реле. Поэтому эти «обмотки» в LD, расположены в разных цепях, но имеют одинаковый идентификатор (в нашем примере - X).

В первую цепь чисто в учебных цепях введен таймер TON, чтобы при исследовании схемы в режиме эмуляции после команды «PUSK» с экрана монитора исчезло окно, частично закрывающее многоступенчатую схему, и обучающийся мог в течение 5 с «собраться с мыслями».

Подобные схемы пуска рекомендуем применять и при испытании других схем.

Таймер с именем «Jmp» определяет длительность импульса, а таймер «Pausa» – длительность паузы. Естественно, студент по желанию может присвоить и другие имена и уставки по времени.

4.4.2 Собрать схему для исследования таймеров (рисунок 4.13).

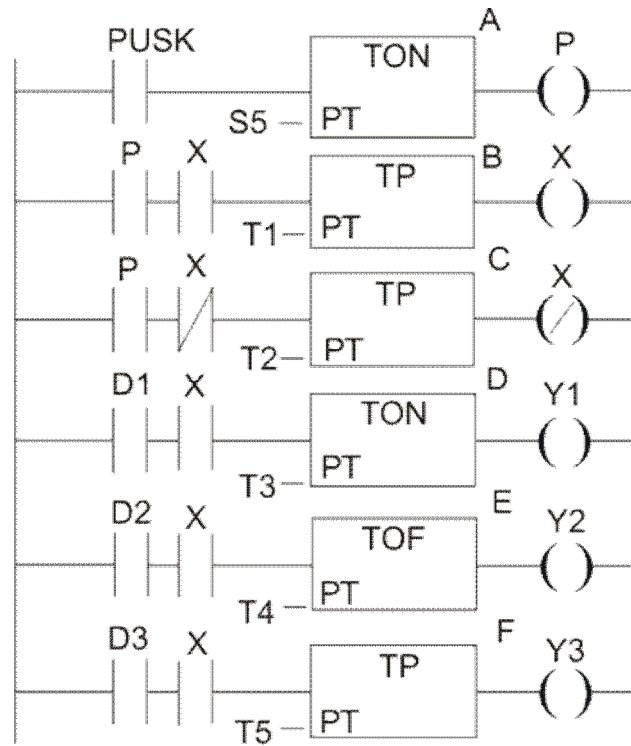


Рисунок 4.13 – Схема исследования таймеров

Первая цепь служит для запуска уже известного нам генератора, занимающего 2<sup>ю</sup> и 3<sup>ю</sup> цепи.

Кнопки D1, D2 и D3 для поочередного подключения исследуемых таймеров TON, TOF и TP. Факт срабатывания таймеров можно наблюдать в режиме эмуляции за изменением состояний катушек реле Y1, Y2 и Y3. Синий цвет катушки указывает на включенное состояние. Временные параметры генератора (T1 - длительность импульса, T2 - паузы) и исследуемых таймеров (T3, T4, T5) нужно будет менять.

Естественно, временные параметры следует задавать в секундах, чтобы заметить реакцию катушек Y1, Y2 и Y3.

Например, установить T1=5с, T2=3с, T3=8с. Включить PUSK и кнопкой D1 таймер TON. Таймер не сработает, т.к. T1<T3 (см. рисунок 9-в).

Потом установить T1=8с, T2=3с и T3=8с. Таймер также не сработает, т.к. T1=T3. Новая установка: T1=10с; T2=3с; T3=8с. Таймер TON сработает, т.к. T1>T3, и Y1 начнет «мигать» синим цветом, что можно еще раз показать на временной диаграмме (рисунок 4.14).

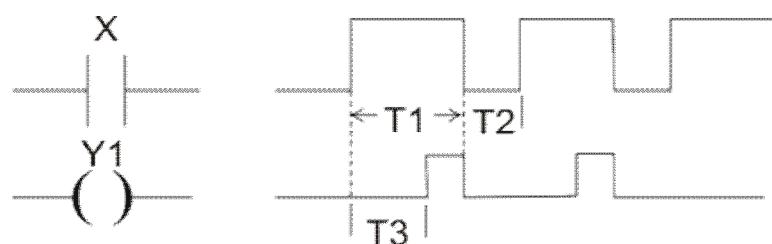


Рисунок 4.14 – Временные диаграммы работы TON таймера D

Подобные опыты поставить для ТОФ и ТР и убедиться в справедливости выводов в п.5 по рисунку 4.9.

#### 4.4.3 Учебная схема с применением всех таймеров

Чисто в учебных целях рекомендуется собрать схему (рисунок 4.15) с применением всех таймеров и детекторов импульсов.

Чтобы на экране монитора в цепи поместились все элементы схемы необходимо по мере ее заполнения делать «прокрутку» влево. На рисунке 4.15 пришлось сделать «перенос» цепи.

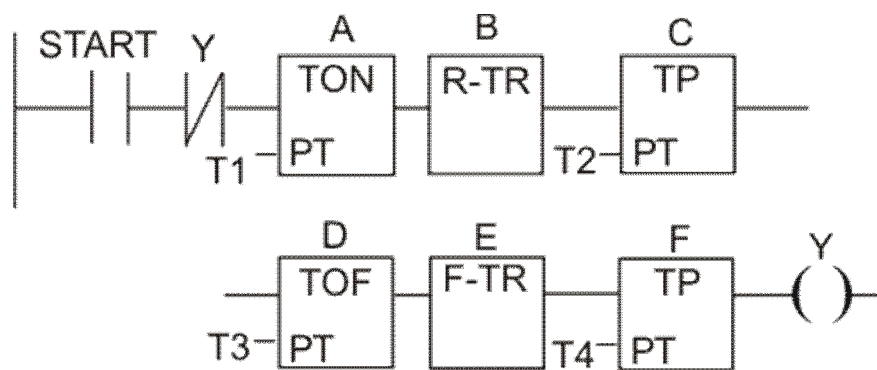


Рисунок 4.15 – Учебная схема

Запустить схему в режиме эмуляции, построить временную диаграмму изменения состояний ее элементов, учитывая, что выходной сигнал одного ФВ служит входным для следующего за ним. Объяснить реакцию каждого элемента, а также влияние соотношения значений Т2 и Т3 на поведение системы в целом.

Напоминаем, что наличие сигнала на выходе какого-либо элемента подтверждается синим цветом канала, соединяющего этот выход с входом следующего блока.

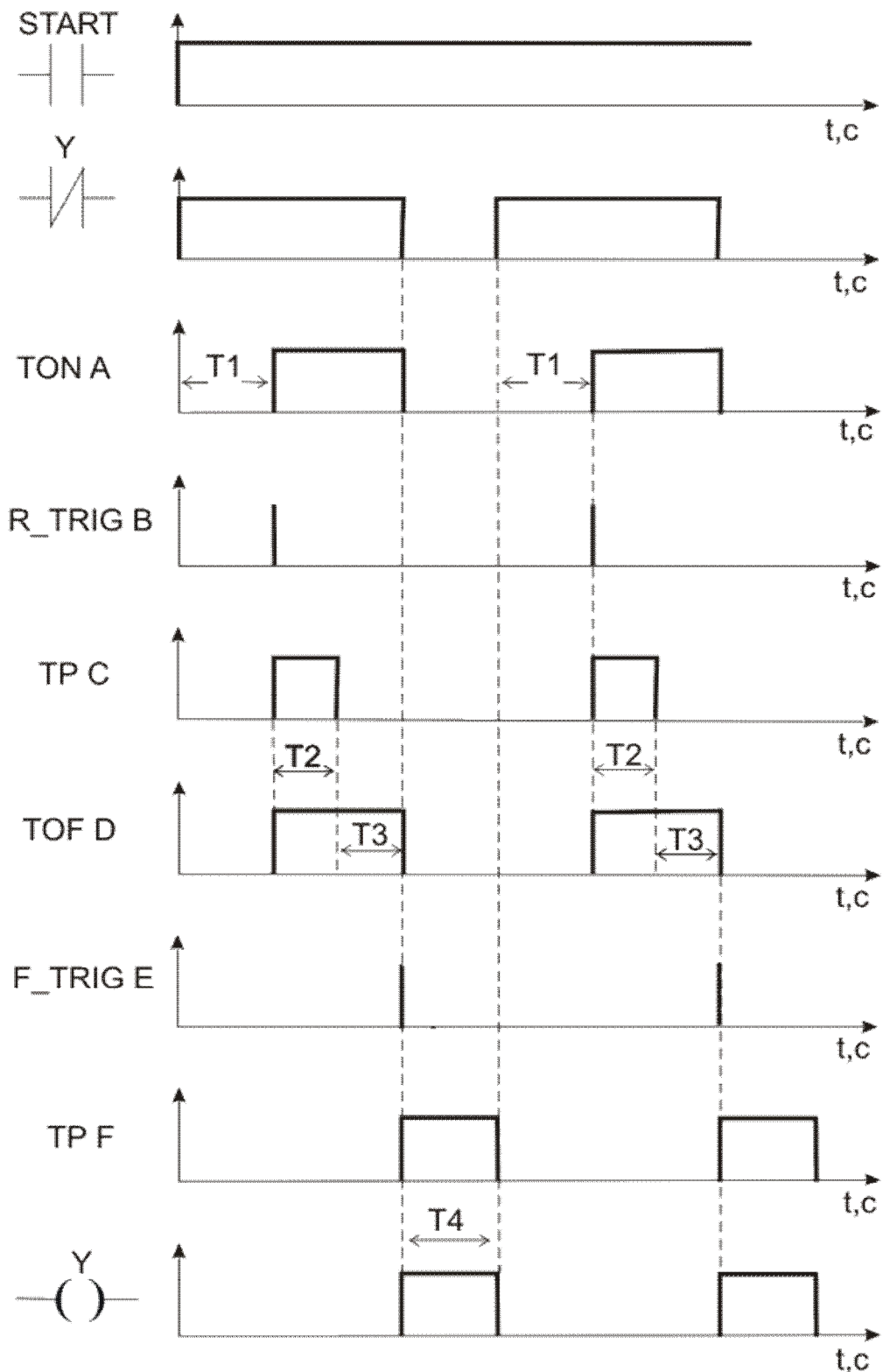


Рисунок 4.16 – Временные диаграммы состояний элементов учебной схемы

На выходе FB В и Е ввиду малой длительности импульса заметить кратковременное изменение цвета затруднительно, особенно при масштабе, менее 100%.

#### Счетчики

CTU инкрементный, STD декрементный и CTUD инкрементный/декрементный счетчики.

## 5.1 Собрать простую схему с СТУ-счетчиком (рисунок 4.17)

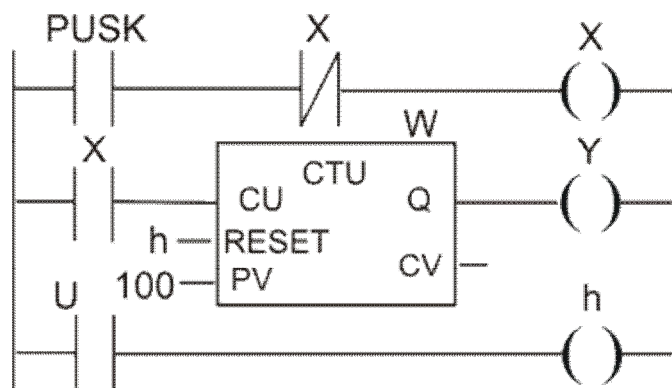


Рисунок 4.17 – Схема с СТУ счетчиком

После переноса счетчика в цепь многоступенчатой схемы появятся ??? над блоком, на входе RESET и PV.

Знаки ??? над блоком, заменяем именем. Знаки ??? перед PV запрашивают значение уставки, т.е. требуемое количество импульсов, вызывающее срабатывание счетчика, при котором выход Q перейдет в TRUE (при условии, что на входе RESET был сигнал FALSE).

Вход RESET знаками ??? запрашивает *имя* логического элемента, от которого должен поступить сигнал TRUE, останавливающий счет, обнуляющий выход CV и устанавливающий на выходе Q FALSE.

В схеме (рисунок 4.17) для счетчика присвоено имя W, для входа RESET имя реле h и принята уставка PV=100.

Само реле h находится в третьей цепи и управляется кнопкой U.

Первая цепь содержит кнопку PUSK и генератор импульсов на реле X (см. рисунок 4.5-а).

По каждому фронту сигнала, поступающему на вход CU значение выхода CV *возрастает* на 1 и как только их сумма достигнет значения PV, счет останавливается. (На других языках программирования ПЛК с выхода CV можно снимать информацию о количестве поступивших импульсов для последующей обработки с помощью операторов и функций. Здесь этот вопрос не рассматривается).

Кстати, эта схема (рисунок 4.15) позволяет оценить время прогона программы. Достаточно секундомером замерить время от момента пуска генератора до момента остановки СТУ (реле станет синим). Период импульсов генератора равен удвоенной длительности рабочего цикла ПЛК. Количество же циклов известно и равно уставке PV.

5.2 СТУD счетчик отличается от СТУ тем, что каждой входной импульс *уменьшает* значение счетчика на 1. Когда счетчик достигнет нуля, выход Q устанавливается в TRUE.

*Важный момент!* Счетчик СТУD загружается значением уставки, равным PV, только когда на входе LOAD есть сигнал TRUE.

Можно собрать схему с СТД счетчиком (рисунок 4.18).

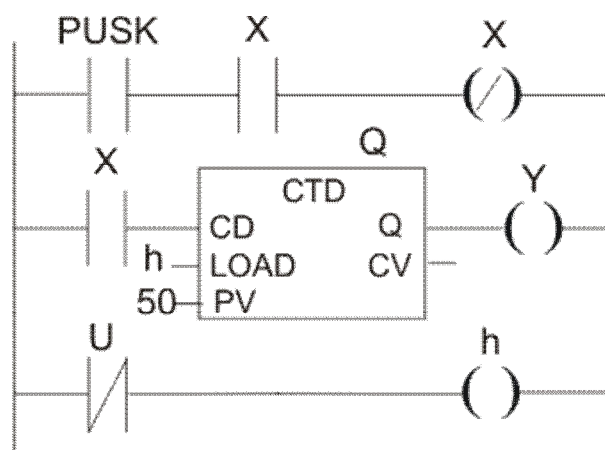


Рисунок 4.18 – Схема с СТД счетчиком

Кнопка START запускает генератор X (для разнообразия собран по схеме рисунке 4.5-б). Счетчику присвоили имя Q, уставка PV=50, имя реле, управляющего входом LOAD, h. По умолчанию принято, что реле, управляющие счетчиками СТУ и СТД имеют на входах RESET и LOAD соответственно *замыкающий* контакт. В схемах (рисунок 4.17 и 4.18) это реле h. Но учитывая отличие счетчика СТД лучше в схеме (рисунок 4.18) установить *размыкающую* кнопку U. Тогда при включении схемы сразу сработает реле h и подает сигнал TRUE на вход LOAD, что обеспечит загрузку выхода CV начальным значением PV (в нашем примере 50). В этом положении имя переменной h на вход LOAD окрашено в синий цвет.

«Нажимаем» кнопку PUSK, начинает работать генератор X, на вход CD поступают импульсы. Но счетчик не активирован. На выходе Q имеем FALSE

«Размыкаем» кнопку U. Реле h отключается, на вход LOAD приходит сигнал FALSE, активируется счетчик и начинается *обратный* отсчет на выходе CV. Как только CV=0, счетчик остановится, на выходе Q сигнал становится TRUE, срабатывает реле Y.

Новый отсчет начнется после повторного замыкания и размыкания кнопки U, например по схеме рисунка 4.19.

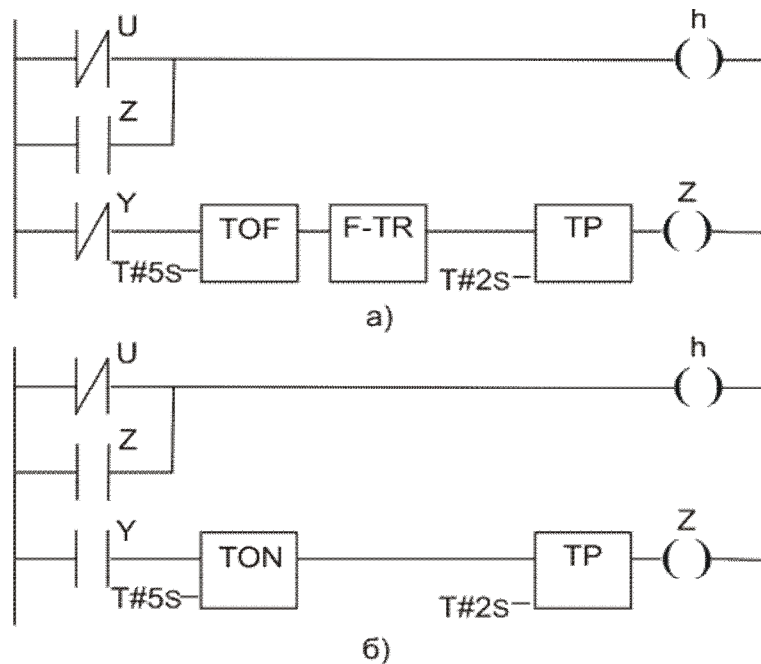


Рисунок 4.19 – Варианты автоматического перезапуска счетчика СТД

Первые две цепи вариантов а) и б) на рисунке 4.19 не показаны, т.к. они полностью повторяют эти же цепи в схеме рисунка 4.18.

По таким же схемам можно осуществить перезапуск счетчик СТУ (рисунок 4.17).

У читателя уже достаточно знаний, чтобы проанализировать работу этих схем (рисунки 4.17, 4.18 и 4.19).

Для простых логических систем применение рассмотренных таймеров практически равноценно. Дело вкуса проектировщика в выборе того или иного счетчика.

6.3 СТУD-инкрементный/декрементный счетчик в данной работе не рассматривается. Отметим лишь, что у него есть накопительный вход СU (как в СТУ), так и вычитающий СD (как в СТД).

## 7. Примеры проектирования систем на принципах событийно-управляемой логики

Ознакомившись с основными компонентами схем и основами программирования на языке LD, можно приступить к проектированию простых систем, описываемых с позиций комбинаторной и/или событийно-управляемой логики.

Напоминаем, что в системах комбинаторной логики состояние выходных элементов, т.е. исполнительных механизмов определяется только комбинацией состояний входных или приемных элементов (реле, кнопок, контактных датчиков и т.д.). В системах событийно-управляемой логики состояние выходных элементов зависит не только от комбинаций состояний входных элементов но и **последовательности** их изменения во времени.

Существуют различные методы проектирования конечных автоматов. Например, с применением приемов построения автоматов Мили и автоматов Мура [3]. Мы же воспользуемся более простым методом временных диаграмм, т.е. когда словесное описание проектируемой системы надо представить в виде графиков изменения входных и выходных сигналов, используя при этом эвристический подход для достижения поставленной цели.

Например, необходимо создать систему управления электроприводами горизонтального А и наклонного В транспортеров для уборки навоза в животноводческом помещении (рисунок 4.20).

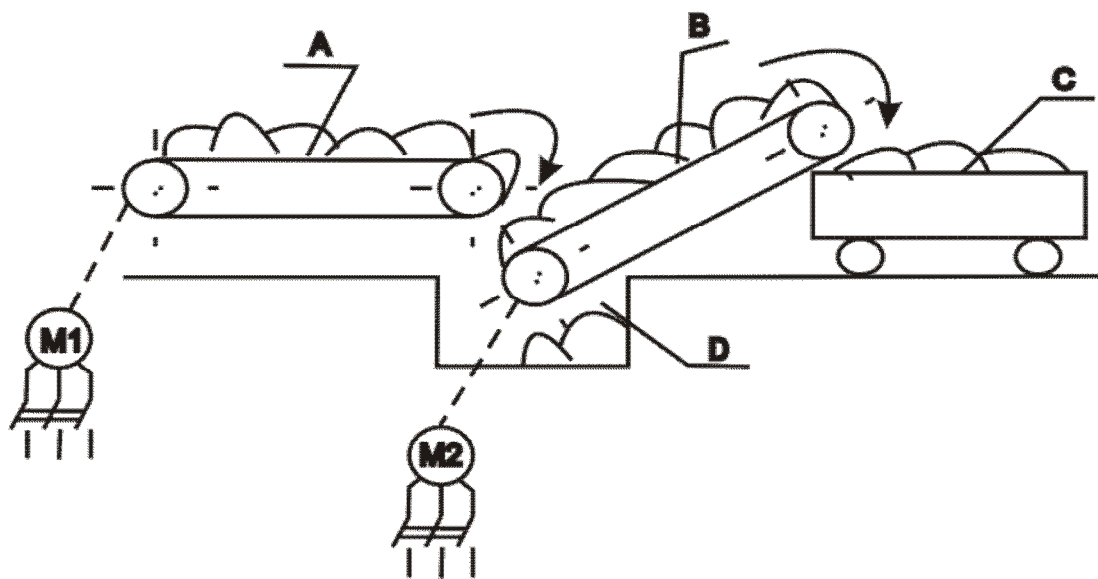


Рисунок 4.20 – Двухтранспортерная линия: А-горизонтальный транспортер; В-наклонный транспортер; С-тракторная тележка; D-навозная яма

Сначала необходимо составить словесное описание проектируемой системы. На этой стадии следует выявить количество и технические характеристики входных элементов и исполнительных механизмов, опираясь на известные решения подобных задач и личный опыт, пожелания технологов и обслуживающего персонала, требования безопасности.

Допустим, в результате этих действий выявили, что необходимо иметь два приемных элемента: кнопки «Пуск» и «Стоп», работающих с самовозвратом, т.е. без фиксации включенного состояния и два исполнительных механизма: М1 и М2.

При пуске линии первым должен включиться М2 (чтобы не было завала в навозной яме!) и через 10с (по совету технологов) двигатель М1.

При нормальном режиме работы наклонный транспортер должен работать 10 мин, но первым за 20с до остановки М2 должен выключиться М1, чтобы за это время разгрузить навозную яму и облегчить последующий запуск линии.

В случаи малого количества навоза оператор может досрочно, нажав кнопку «Стоп», остановить процесс. При этом первым должен остановиться М1 и через 20с – М2. При необходимости (аварийная ситуация!) сразу

остановить M1 и M2, кратковременно нажав обе кнопки «Пуск» и «Стоп» одновременно. Повторное (возможно ошибочное) нажатие этих кнопок не должно приводить к включению транспортеров. Повторный запуск транспортеров допускается не менее, чем через 10 мин с целью охлаждения двигателей M1 и M2 или для выяснения причин аварийной остановки и их устранения.

Эта простая программа действий при дальнейшем анализе системы может быть расширена. Например, потребуется установить датчики тепловой защиты двигателей (еще два входных элемента!), аварийное отключение при отказе одного из двигателе (особенно плохо – если M2!) и т.д.

И перечень таких ситуаций можно продолжать. Поэтому ограничимся вышеуказанной схемой работы, представив ее в виде временной диаграммы на рисунке 4.21.

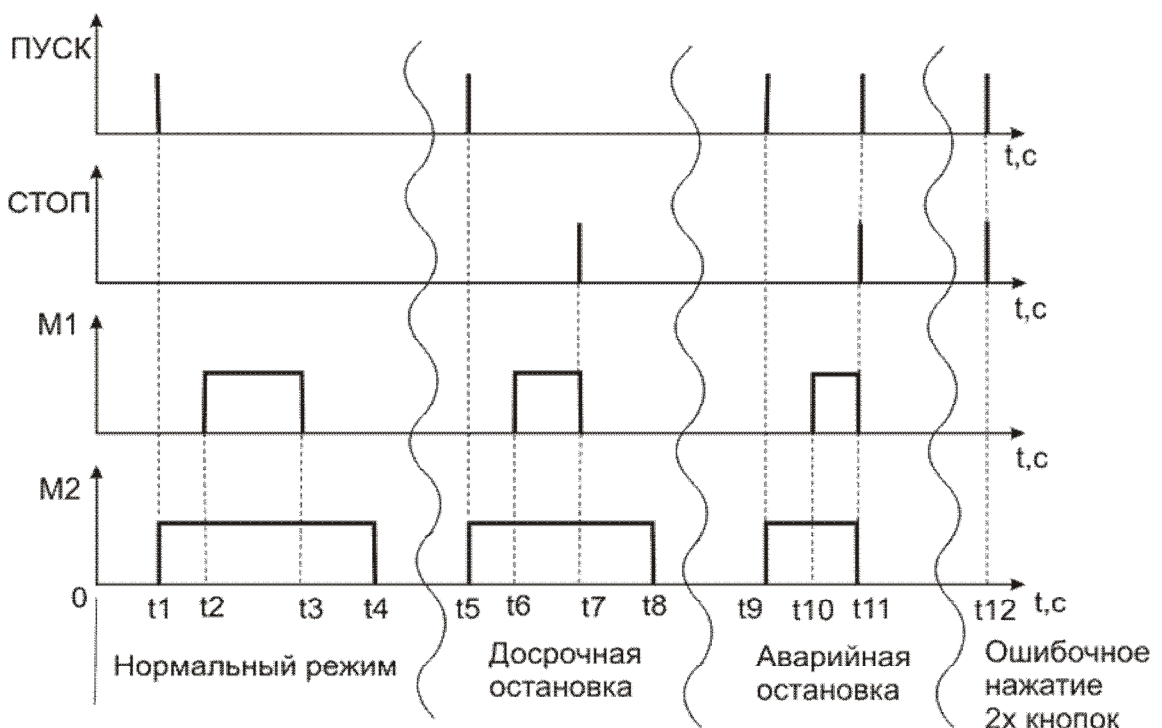


Рисунок 4.21 – Временная диаграмма состояний входных и выходных элементов проектируемой системы

Очевидно:  $t_2 - t_1 = t_6 - t_5 = t_{10} - t_9 = 10\text{c}$ ;  
 $t_4 - t_3 = t_8 - t_7 = 20\text{c}$ ;  
 $t_4 - t_1 = 600\text{c}$ ;  
 $t_3 - t_2 = 600 - 10 - 20 = 570\text{c}$ .

Опишем режимы работы по этой диаграмме и попытаемся одновременно проектировать схему на LD.

Результат во многом зависит от опыта проектировщика, его предпочтений при выборе того или иного способа получения требуемых решений.

Например, фиксацию кратковременного нажатия кнопки «Пуск» можно выполнить по меньшей мере тремя методами (см. рисунки 4.6, 4.7, 4.8)

Естественно, имена компонентов будем писать на английском (или с применения английского шрифта).

Итак начинаем.

### 8.1. Нормальный режим работы

В момент  $t_1$  оператор нажал кнопку «PUSK», и через ТР таймер F1 кратковременно сработало виртуальное реле K1 (рисунок 4.22). Кстати, этот таймер потом при подключении кнопки к реальному ПЛК защитит его от, так называемого, «дребезга контактов» имеющего место в механических контактных элементах. Во время этого дребезга возникает хаотичная группа импульсов, что в ряде случаев может привести к ложным срабатываниям ПЛК.

ТР таймер же реагирует на первый импульс, игнорируя последующие, если те укладываются во временной интервал уставки по его входу РТ (см. рисунок 4.9). Обычно достаточно принять уставку порядка десятка миллисекунд, т.к. по техническим условиям на контактные изделия продолжительность дребезга не должна превышать 1мс.

Первая цепь имитирует работу кнопки с самовозвратом, т.е. при нажатии на кнопку «PUSK» кратковременно (на период действия импульса с ТР таймера F1) сработают контакты этого реле. Теперь необходимо зафиксировать это кратковременное срабатывание. С этой целью во второй цепи поставим RS триггер F2. При замыкании контакта K1 на входе SET этого FB на его выходе Q1 появится сигнал, запускающий ТР таймер F3 с уставкой РТ на 10 мин или 600с. Можно установить по желанию любой вариант РТ. Это обеспечить включение в тот же момент  $t_1$  двигателя наклонного транспортера.

В третьей цепи виртуальный контакт реле M2 через TON таймер F4 с задержкой на 10с запустит ТР таймер F5 с уставкой РТ на 9,5 мин. Но дробное значение не приемлемо! Значит нужно сделать уставку в 570с, что обеспечит в момент  $t_2$  запуск M1 и его отключение в момент  $t_3$ , т.е. за 20с до остановки M2. Начальный фрагмент проектируемой системы изображен на рисунке 4.22.

Пока ??? на входе RESERT1 в RS триггере оставим без ответа. Формально нормальный режим работы транспортеров *вроде бы* в интервале 0... $t_4$  выполнен.

Надо теперь предусмотреть возможность досрочной остановки процесса уборки навоза.

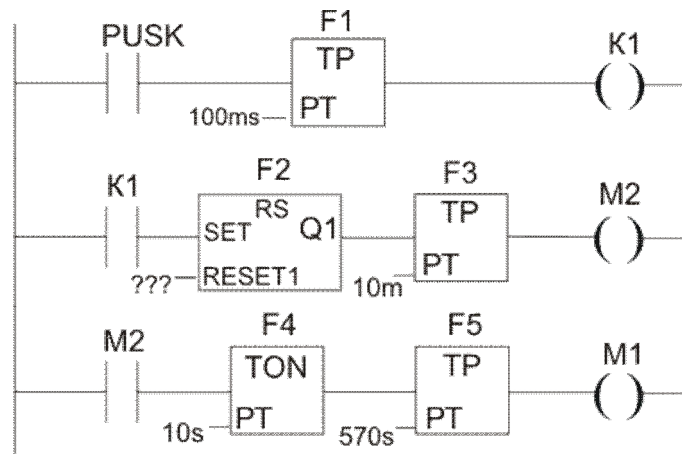


Рисунок 4.22 – Начальный фрагмент проектируемой СЛУ

С этой целью в четвертой цепи установим кнопку «STOP» и по аналогии с вышеописанной схемой через TP таймер F6 на 100 мс в момент  $t_7$  включаем виртуальное реле K2, затем Y1 и по известной схеме (см. рисунок 4.7) ставим его на самоблокировку (рисунок 4.23).

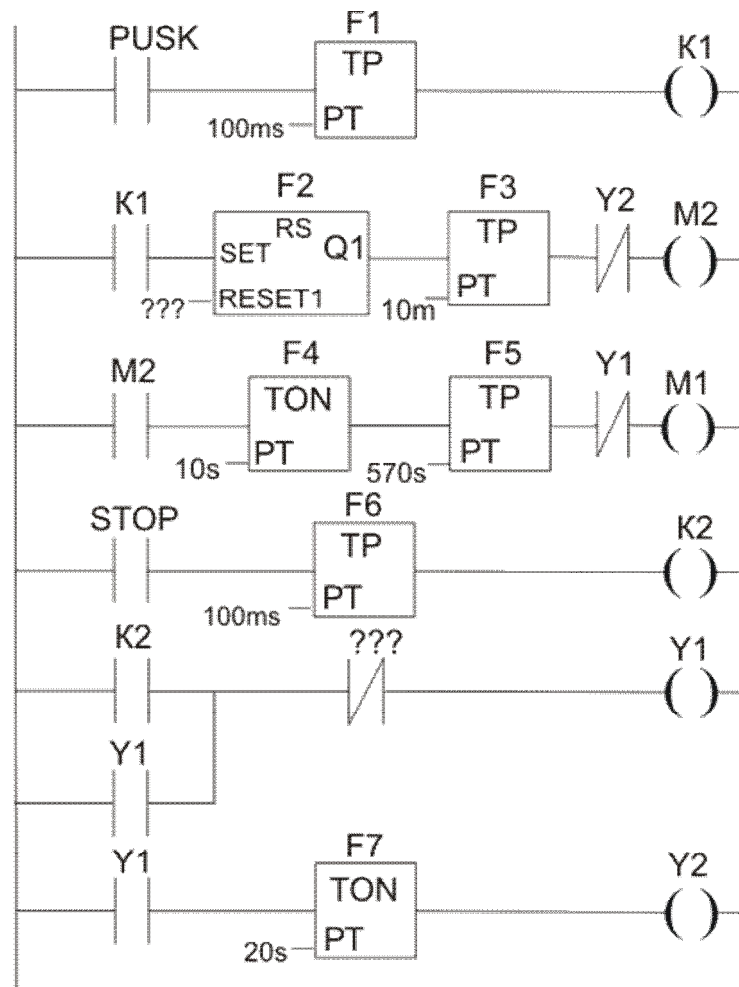


Рисунок 4.23 – Развитие начального фрагмента

Реле Y1 в тот же момент  $t_7$  должно остановить M1. С этой целью в третью цепь поставим размыкающий контакт Y1. Кроме того, надо через 20с отключить M2. Потребуется новая шестая цепь, в которой Y1 через

ТОН таймер F7 запускает виртуальное реле Y2, которое своим размыкающим контактом во второй цепи выполнит эту процедуру и в момент  $t_8$ , т.е. через 20с после остановки M1 отключится M2. Естественно, когда то придется снять самофиксацию с реле Y1. Для этого по известной схеме (см. рисунок 4.7) поставим размыкающий контакт в цепь с катушкой Y1. Но имя этого элемента оставим пока под ???.

**Вроде бы** выполнили и второй режим досрочной остановки.

«Вроде бы», т.к. еще не решены вопросы с перезапуском RS-триггера и аварийной остановкой M1 и M2.

Можно предложить такой вариант ответа на эти вопросы.

Создадим еще одну седьмую цепь.

Контактами K1 и K2, которые срабатывают в момент  $t_{11}$  при нажатии на кнопки «PUSK» и «STOP» через TP таймер F8 запустим реле h, а имя этого реле поставим на входе RESET1 RS триггера F2.

Кроме того, размыкающий контакт этого реле в тот же момент  $t_{11}$  снимет блокировку с реле Y1 и обесточит двигатели M1 и M2. Кстати, выполнить точно одномоментное нажатие и включение механических кнопок «PUSK» и «STOP» под силу не каждому оператору. Здесь нам помогут таймеры F1 и F6. Временные уставки по входам РТ этих таймеров можно взять в пределах 50...500 мс, что значительно превышает допустимый интервал дребезга контактов и устраняет последствия возможной асинхронности в действиях оператора при нажатии на кнопки. Уставка TP таймера должна быть не менее уставки запущенного ранее TP таймера F3. За это время снова запустить технологический процесс нельзя. (Надо установить и устранить причину аварийной остановки!)

Получил **вроде бы** окончательный вариант проектируемой СЛУ (рисунок 4.24).

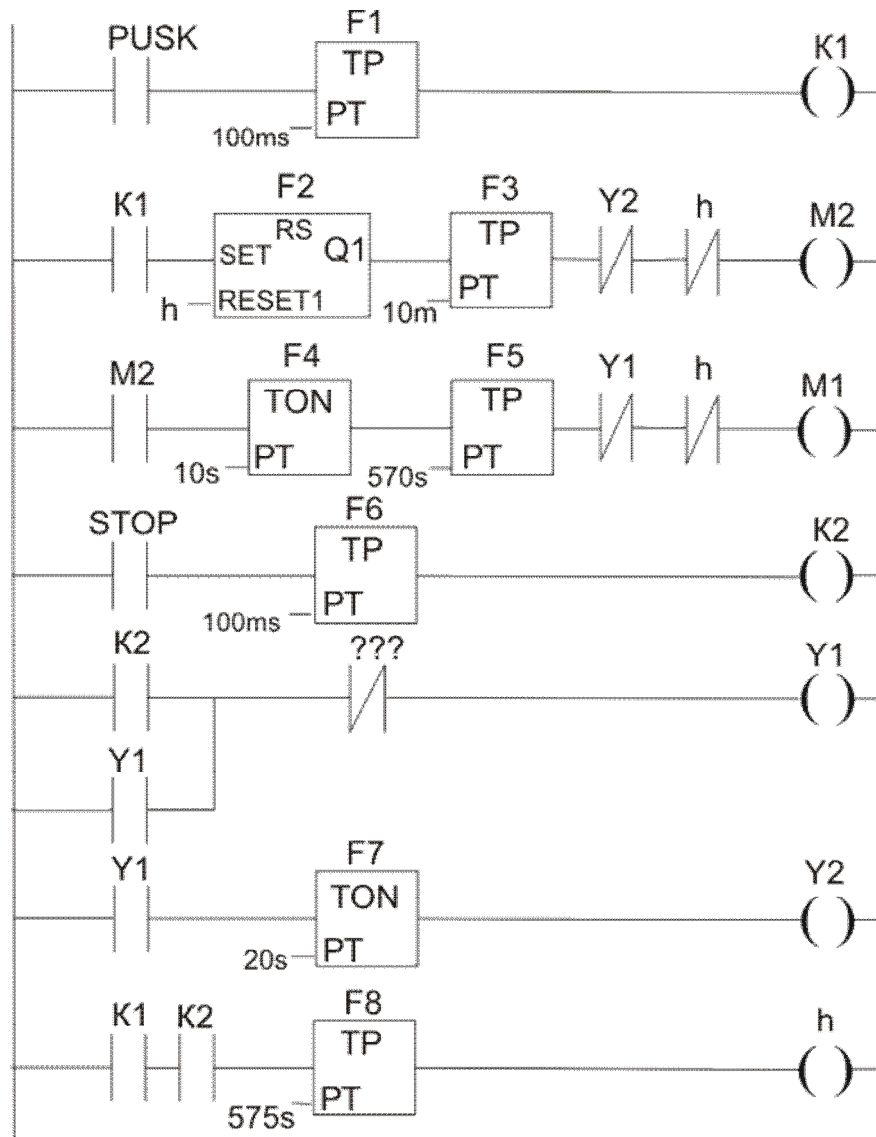


Рисунок 4.24 – Почти окончательный вариант СЛЮ

Если запустить эту программу в режим эмуляции, то при первом запуске все сработает как и планировалось.

Но попытка повторного запуска в первом и втором режимах (см.рисунок 4.21) не дает желаемого результата. В чем дело? Ответ простой. Выход Q1 RS триггера после поступления сигнала по SET входу остается в состоянии TRUE, пока не получит сигнал сброса на вход RESET1. А этот сигнал поступит только в режиме аварийной остановки, т.е. когда будут нажаты кнопки «PUSK» и «STOP». Следовательно, надо добиться, чтобы при каждом нажатии на кнопку «PUSK» производилась кратковременная подача сигнала на вход RESET1. С этой целью создадим еще одну (восьмую) цепь, в которой контакт K1, срабатывающий при нажатии кнопки «PUSK», запустит TP таймер F9 с выдержкой времени значительно *меньше*, чем у таймеров F1 и F6 (рисунок 4.25). Сработает реле K3 и своим замыкающим контактом в следующем цикле по входу RESET1 подготавливает RS триггер к приему сигнала по входу SET через замыкающий контакт K1.

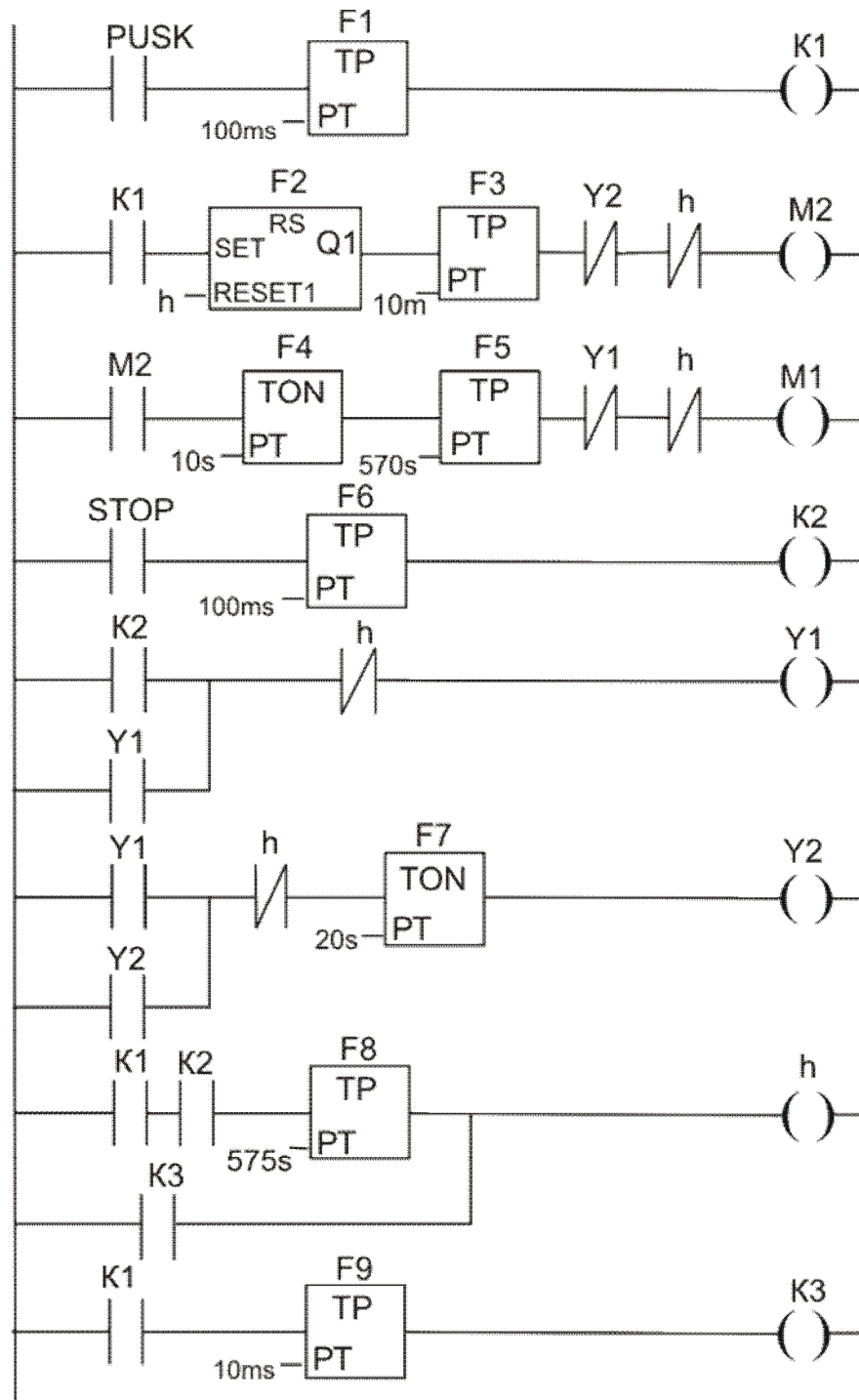


Рисунок 4.25 – Окончательный вариант проектируемой СЛУ

Естественно, при исследовании этой СЛУ в режиме эмуляции нет смысла ожидать 10мин до отключения M2. Поэтому в учебных целях можно рекомендовать меньшие значения уставок для таймеров. Например, для F3  $T1=30...60с$ ; для F4  $T2=5..10с$ ; для F5  $T3=30..60с$  и для F7  $T4=5...10с$ . При этом должно лишь выполняться условие  $T1=T2+T3+T4$ , что следует из техзадания. Для таймера F8 уставка должна быть равна или больше  $T1$ .

С целью безопасной работы технологической линии желательно кнопку «STOP» выбирать с *размыкающим* контактом, т.к. в случае обрыва линии связи этой кнопки с ПЛК появится сигнал, требующий вмешательства технологов. С позиций безопасного обслуживания подобного техно-

логического процесса можно утверждать, что лучше не запустить, чем вовремя не остановить!

Тогда четвертую цепь в схеме по рисунок 4.25 можно заменить, как показано на рисунок 4.26. Потребуется еще один блок F\_TRIG F10.

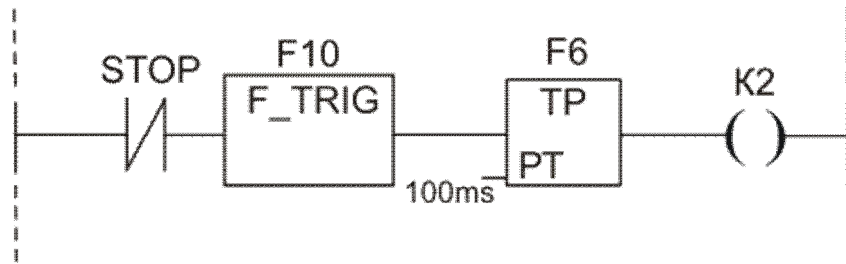


Рисунок 4.26 – Фрагмент схемы с размыкающей кнопкой STOP

4.9 Отчет должен содержать краткие теоретические сведения о программируемых логических контроллерах, этапах создания проекта системы автоматизации с использованием ПЛК, проекты приведенных в методических указаниях примеров автоматизации реализованных в среде CoDeSys.

#### 4.10. Рекомендуемая литература.

1. Минаев, И.Г. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления: учебное пособие / И.Г. Минаев, В.М. Шарапов, В.В. Самойленко, Д.Г. Ушкур – 2-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь: АГРУС, 2010.-128с.
2. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного программирования. М.: Солон-Пресс. – 2004. – 253с.
3. Парр, Э. Программируемые контроллеры. М.: Бином. – 2007. – 516с.
4. Карпов Ю.Г. Теория автоматов. Учебник для вузов. М.: ПИТЕР. – 2002. – 206с.
5. Калабеков, В.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы / В.А.Калабеков - М.: Горячая линия – Телеком, 2000.-С. 336с.

#### 11. Список используемых приложений:

Приложение 4.1. Технический паспорт и руководство по эксплуатации прибора ПЛК100.

Приложение 4.2. Краткие сведения о программной среде CoDeSys.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой ПЛК?
2. В чем заключается цикличность прогона программы?
3. Чем отличаются комбинационные и последовательностные СЛУ?
4. Какие функциональные блоки применяются в LD диаграммах?
5. Какие требования к входным сигналам таймеров TON, TOF и TP?
6. Какие известны способы фиксации включения реле в LD?
7. В каких направлениях по многоступенчатой схеме в LD происходит выполнение программы?
8. Как создается цепь в LD из контактов, FB и катушек?
9. Как можно соединить катушки?
10. В чем заключается режим эмуляции?
11. Что такое «имя» компонента цепи?
12. Какой шрифт применяют для идентификации компонентов?
13. Какие буквы нельзя применять в имени?
14. Чем отличаются счетчики STU и STD?
15. Можно ли применять дробные уставки по времени для таймеров?

# Лабораторная работа № 5

## Исследование датчиков давления

5.1 Цель работы: Изучение устройства и принципа действия датчиков давления, нашедших наиболее широкое применение в различных отраслях агропромышленного комплекса.

Содержание работы:

1. Изучить устройство и принцип действия деформационных датчиков давления.
2. Исследовать работу датчика давления типа МЭД и регулятора давления типа РД1-1Б в системе двухпозиционного регулирования.
3. Произвести настройку регулятора типа РД1-1Б.

5.2 Краткие теоретические сведения:

Число приборов для измерения давления и разряжения, используемых в отраслях агропромышленного комплекса, очень велико. Их применяют при контроле работы различных машин, технологического оборудования, на животноводческих комплексах, в системах автоматизации влажностно-тепловых процессов сельскохозяйственного производства, в системах контроля и регулирования давления, при ремонте и испытании сельскохозяйственных машин и т.п. Наибольшее применение, для измерения давления и разряжения жидкостей, газов и паров в трубопроводах на животноводческих, фермах и комплексах, в ремонтных мастерских, транспортных средствах и т.п., нашли деформационные приборы. Эти приборы обеспечивают достаточно высокую для технических целей точность измерения в широком диапазоне давлений и разряжений (от 100Па до 1000МПа). Они портативны, просты по конструкции и надежны в эксплуатации.

Действие деформационных приборов основано на уравнивании усилия, вызванного измеряемым давлением, силой упругости чувствительного элемента прибора. В качестве чувствительных упругих элементов используются трубчатые пружины, согнутые по дуге (трубка Бурдона, рисунок 5.1, а) или по винтовой линии (геликоидальная трубка, рисунок 5.1, б), сильфоны (рисунок 5.1, в), мембраны металлические гофрированные (рисунок 5.1, г) и вялые (плоские, рисунок 5.1, д) и гофрированные (рисунок 5.1, е), мембранные коробки (рисунок 5.1, ж). Трубчатые пружины имеют в сечении форму эллипса или овала.

Среди деформационных приборов наибольшее применение в сельскохозяйственном производстве находят манометры с отсчетным устройством и электрическим выходным сигналом.

Рассмотрим устройство и принцип действия показывающего трубчато-пружинного манометра.

Чувствительным элементом показывающего трубчато-пружинного манометра (рисунок 5.2), служит одновитковая трубчатая пружина 5, представляющая собой пружинистую трубку эллиптического или овального сечения, согнутую по спирали. Нижний конец трубки впаян в держатель 12, в верхний конец трубки впаяно ушко 7. Нижний конец держателя снабжен штуцером 14 с резьбой для подсоединения манометра к объекту измерения.

Под действием измеряемого давления сечение трубчатой пружины деформируется, стремясь принять круглую форму, вследствие чего в материале возникает напряжение, приводящее к раскручиванию трубки. Для передачи упругой деформации на стрелку прибора служит механизм с зубчатой передачей. При деформации свободный конец перемещается и тянет за собой поводок 8, поворачивая при этом зубчатый сектор 4 и шестеренку-трубку 2, на оси которой жестко закреплена стрелка 1. В хвостовике сектора сделана прорезь 10, предназначенная для перемещения места крепления поводка при регулировке манометра.

Для устранения свободного хода в зубчатом зацеплении спиральная пружина (волосок 3) постоянно прижимает трубку к одной стороне зубцов сектора. При снижении давления до атмосферного трубка принимает первоначальную форму.

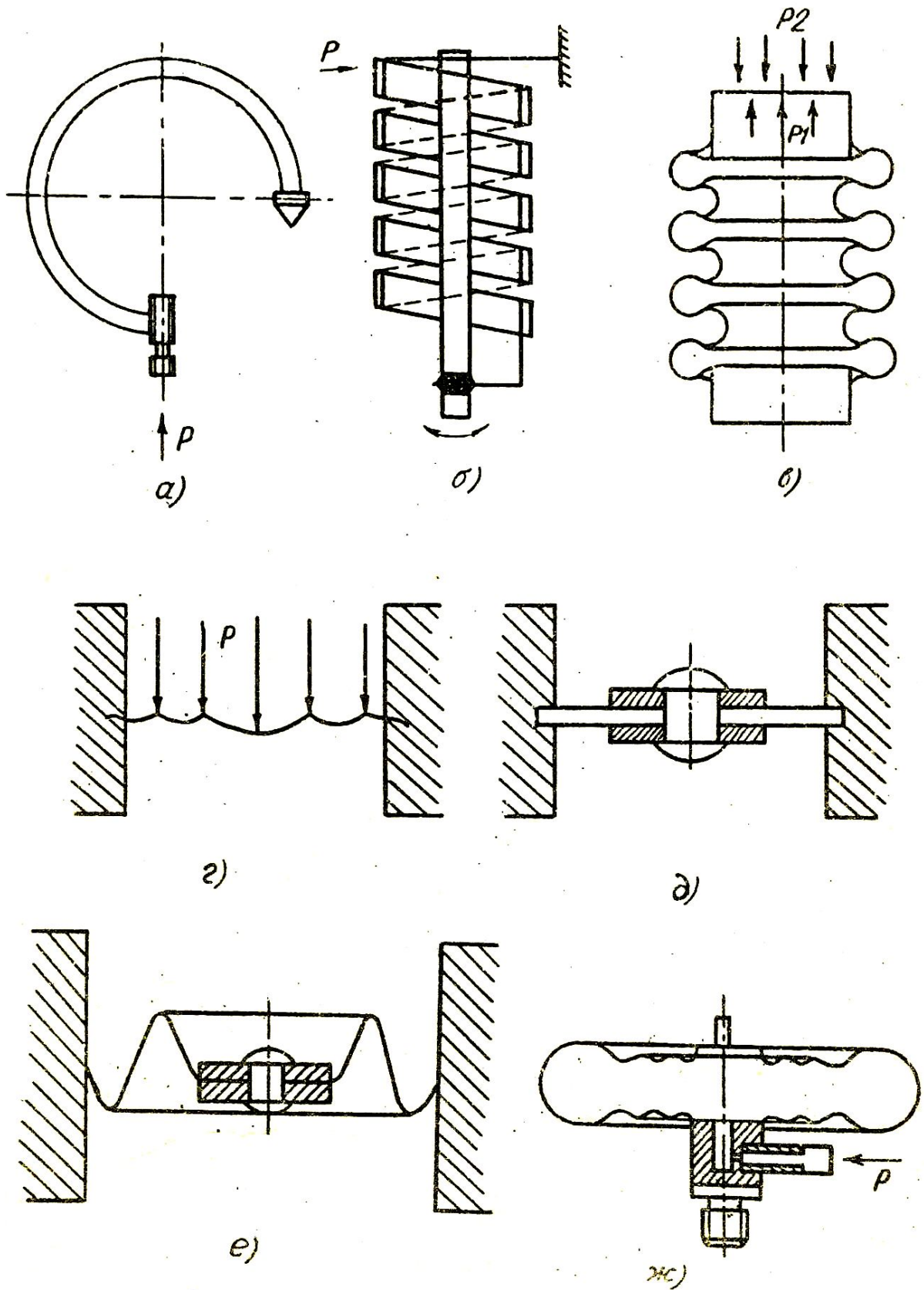


Рисунок 5.1 – Чувствительные элементы деформационных датчиков давления

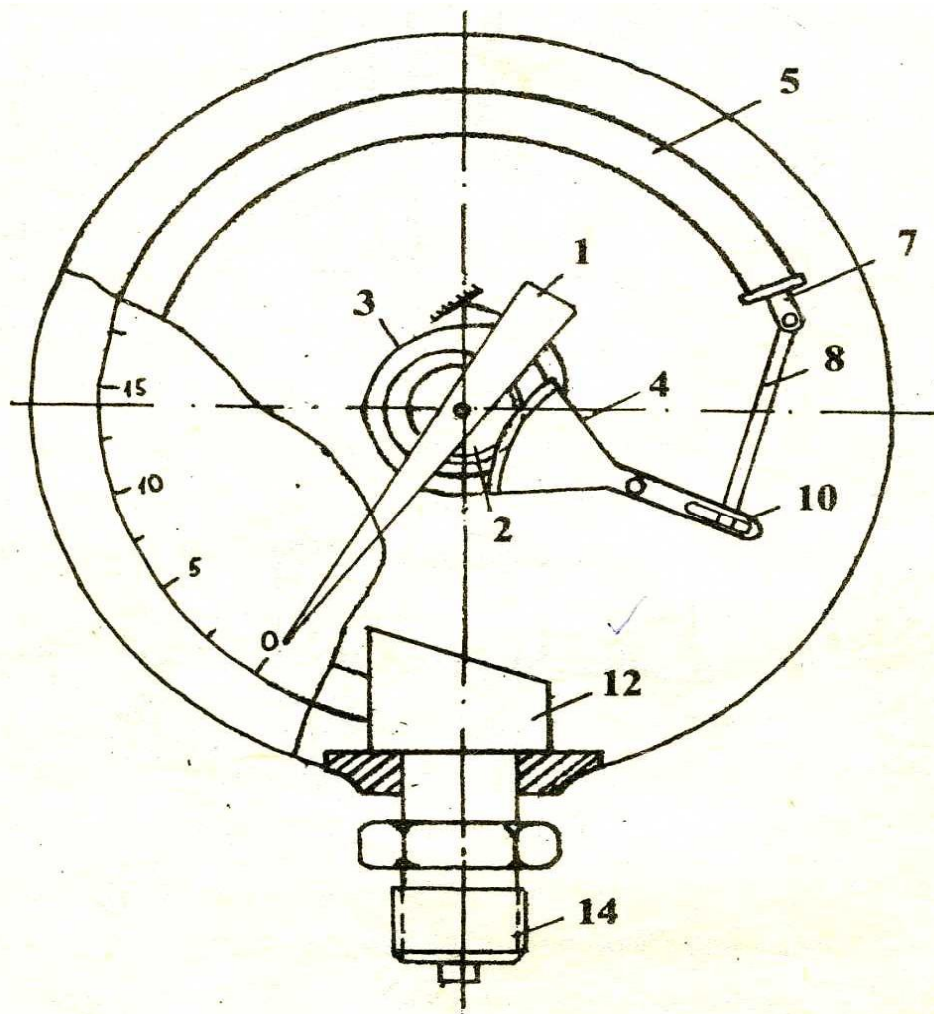


Рисунок 5.2 – Показывающий трубчато-пружинный манометр

По положению стрелки над шкалой судят о значении измеряемого давления. Зависимость между давлением и перемещением свободного конца стрелки - прямолинейная, поэтому шкалы манометров равномерны, что является их достоинством.

Принцип действия манометра с электрическим выходным сигналом (рисунок 5.3) основан на преобразовании упругой деформации трубчатой пружины в электрический сигнал, передаваемый индуктивным преобразователем на вторичный прибор. Выходной параметр манометра, взаимная индуктивность между первичной и вторичной цепями дифференциального трансформатора, изменяющаяся пропорционально изменяющемуся давлению.

Среда, находящаяся под измеряемым давлением (или разрежением) через штуцер 5 воздействует на трубчатую пружину 1, закрепленную в держателе 4. Держатель, соединенный с корпусом 6 манометра несет на себе катушку 9 дифференциально-трансформаторного преобразователя, в которую помещен стальной сердечник 8, скрепленный штоком 10 и рычагом 11 со свободным концом трубчатой пружины. В верхней части держателя расположены постоянный 7 и переменный 3 резисторы, шунтирующие вторичную обмотку катушки дифференциально-трансформаторного

преобразователя. Соединительные провода выведены из манометра через штепсельный разъем, установленный на задней стенке прибора и служащий для подключения его к вторичному прибору.

При изменении давления трубчатая пружина, изменяя свою кривизну, перемещает сердечник в катушке дифференциально-трансформаторного преобразователя, что приводит к изменению взаимной индуктивности между цепями, т.е. выходного параметра манометра. Первичная обмотка прибора преобразователя питается от вторичного прибора переменным током 0,125А, 24В, частотой 50Гц; продолжительность установления выходного параметра не более 1с. Пределы изменения вторичной индуктивности 0...10 мГ.

Манометры МЭД работают в комплекте с одним из вторичных автоматических дифференциально-трансформаторных приборов КСД, КПД и др., отградуированных в единицах давления.

Манометр и вторичный прибор имеют одинаковые дифференциально-трансформаторные преобразователи, катушки которых I и II с сердечниками содержат первичную и вторичную обмотки. Кроме того, в средней части катушки II расположена дополнительная вторичная обмотка III, шунтированная переменным резистором R1, которая служит для корректировки электрического нуля вторичного прибора. Первичные обмотки A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> катушек I и II дифференциально-трансформаторных преобразователей, соединены последовательно и питаются переменным током, напряжением 24В, с частотой 50Гц от зажимов а и b силового трансформатора полупроводникового усилителя ЭУ. Вторичные обмотки этих катушек состоят из двух одинаковых секций и включены встречно, т.е. индуктируемые в них Э.Д.С. имеют противоположное направление. Все вторичные обмотки катушек дифференциально-трансформаторных преобразователей соединены последовательно и подключены к входным зажимам с и d усилителя.

Принципиальная электрическая схема соединения манометра МЭД и вторичного автоматического прибора КСД 1 приведена на рис. 5.4.

Измеряемое давление вызывает перемещение сердечника в катушке I манометра, вследствие чего наводимое в секциях ее вторичной обмотки Э.Д.С. будут различны. Тогда на вход усилителя поступает разность (разбаланс) напряжений между вторичными обмотками катушек.

В фазочувствительном усилителе напряжение разбаланса усиливается до значения, необходимого для работы реверсивного асинхронного микродвигателя РД, управляющая обмотка которого присоединена к выходным зажимам l и k усилителя.

Двигатель РД, связанный с подвижной кареткой (указательной стрелкой и пером) отсчетного устройства ОУ, с помощью кулачка К перемещает сердечник в катушке II, что приводит к уравниванию Э.Д.С. наводимых в ней и катушке I, а следовательно, к новому состоянию равновесия передающей системы. Таким образом, каждому положению сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя манометра соответствует определенное положение сердечника прибора, следовательно, и определенное положение каретки с указателем на шкале прибора. Перемещение

сердечников в катушках дифференциально-трансформаторных преобразователей составляет 4мм.

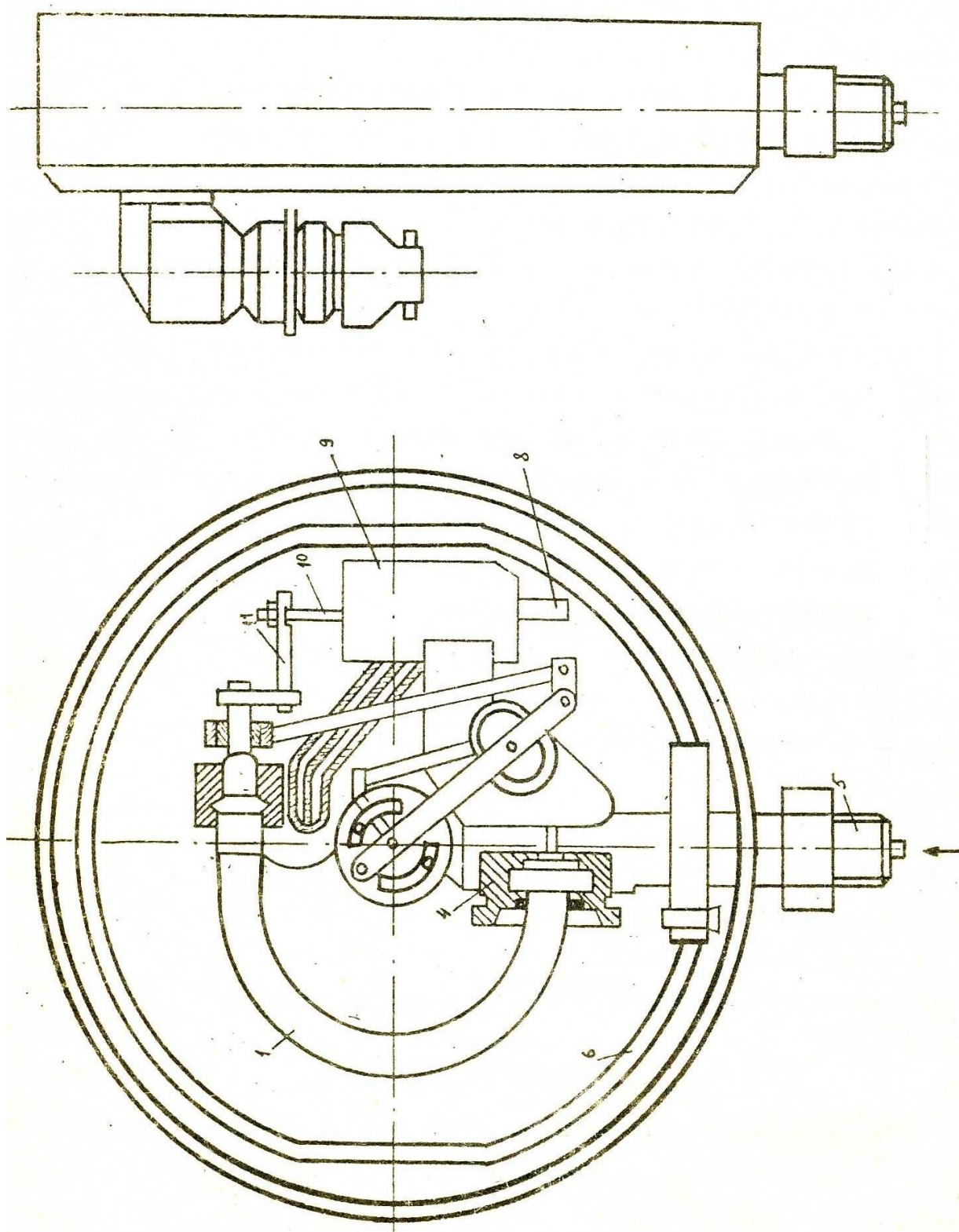


Рисунок 5.3 – Манометр с электрическим выходным сигналом

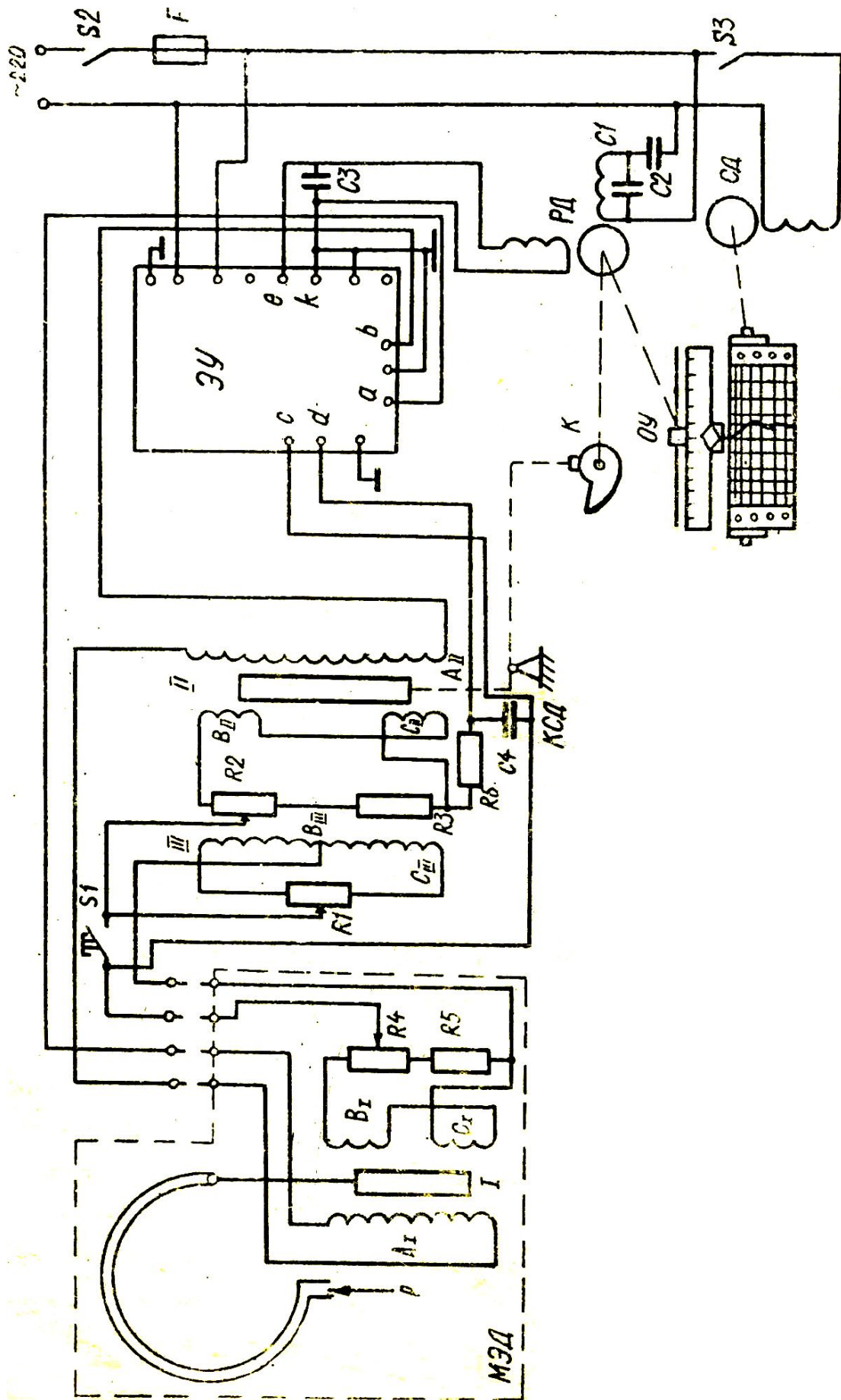


Рисунок 5.4 – Схема соединения манометра МЭД и вторичного автоматического прибора типа КСД

Диаграммная лента шириной 100мм движется от встроенного в прибор микродвигателя СД. Выключатели S2 и S3 служат для подачи напряжения сети, соответственно, на прибор и микродвигатель СД.

Взаимозаменяемость позволяет одному вторичному прибору работать совместно с несколькими манометрами при периодическом подключении точек измерения, а также быстро заменять вышедший из строя прибор без тарировки комплекта.

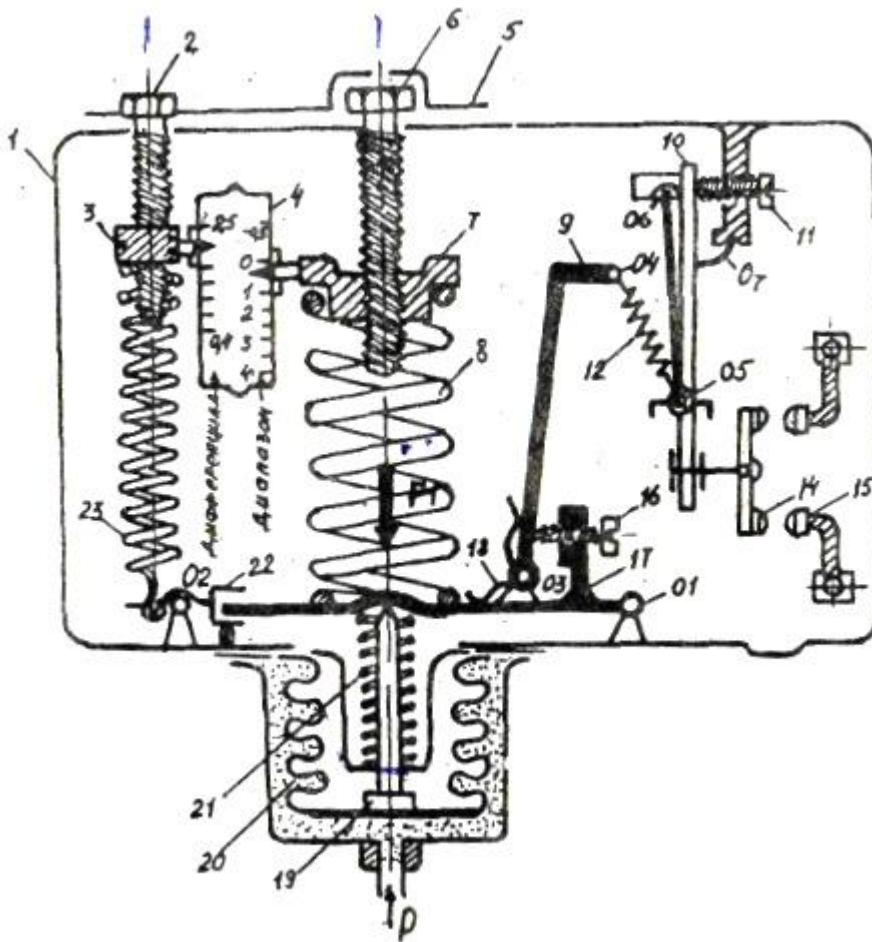
Для проверки правильности работы вторичного прибора служит контрольная кнопка S1, при нажиме, на которую замыкается накоротко вторичная обмотка катушки I и дополнительная обмотка III. Тогда на вход усилителя подается напряжение от основной вторичной обмотки II, которое (если прибор исправлен), заставляет реверсивный двигатель переместить ее сердечник в среднее положение и установить стрелку прибора напротив контрольной отметки шкалы. При смещении нуля системы его корректируют движком резистора R2, задающего дополнительное напряжение, подаваемое на вход усилителя.

В системах автоматизации различных сельскохозяйственных технологических процессов широкое применение находят реле давления типа РД-1Б-01.

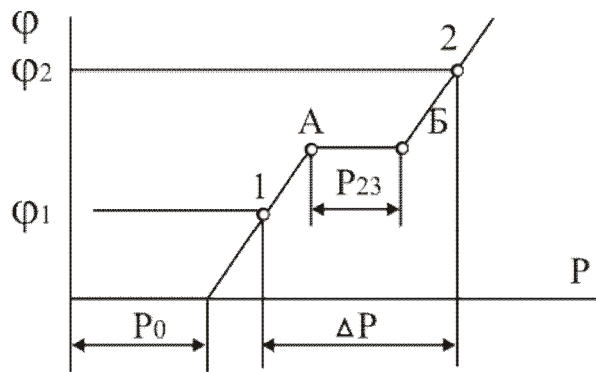
Конструктивная схема реле давления типа РД-1М представлена на рисунке 5.5.

Реле состоит из чувствительного элемента (сильфон 20), задающего устройства (пружина 8 и винт 6), элемента сравнения (рычаг 17), системы рычагов и электрических контактов 14 и 15.

Принцип работы реле давления следующий. В начальном состоянии ( $P < P_0$ ) основная пружина 8 сжата и развивает направленное вниз усилие  $F_1$  которое больше суммы сил, создаваемых вспомогательной пружинной 21 и сильфоном 20 под действием измеряемого давления  $P$ . Поэтому рычаг 17 опущен вниз, и нажимая левым концом вилку 22, упирается выступом в корпус 1. С рычагом 17 шарнирно соединен рычаг 9, который под воздействием пружины 18, навитой на ось  $O_3$  прижат к винту 16. Пружина 12 переключателя растянута и стремится повернуть рычаг 13 вокруг оси  $O_6$  по часовой стрелки. Вилка вращает рычаг 10 влево вокруг оси  $O_7$  до упора в винт 11, размыкая контакты 14 и 15. Пружина дифференциала 23 при этом не растянута, и вилка 22 упираясь в выступ, не воздействует на рычаг 17.



а)



б)

Рисунок 5.5 – Конструктивная схема реле давления

При повышении измеряемого давления  $P$  до такого значения ( $P > P_0$ ) когда усилие, развиваемое сильфоном совместно с пружиной 21, станет больше усилия  $F_1$ , предварительного сжатия пружины 8, шток 19 начнет поворачивать рычаг 17, сжимая пружину 8. При давлении  $P = P_A$  (точка А на рисунок 5.5) рычаг 17 упрется в верхний выступ вилки 22 и его движение прекратится пока давление не возрастет до величины  $P_B$  и усилие со стороны штока 19 не преодолеет силу предварительного натяжения пружины дифференциала 23. При  $P > P_B$  измеряемое давление преодолеет суммарную силу сжатой пружины 8 и растянутой пружины 23. С дальнейшим ростом

давления до  $P=P_2$  ось  $O_4$  на конце рычага 9 переходит за линию  $O_5 - O_6$  и пружина переключателя 12 резко замкнет контакты 14 и 15.

При понижении давления на входе пружины 8 и 23, преодолевая усилие пружины 21 и оставшееся давление, поворачивают рычаг 17 и 9 в обратном направлении. Когда вилка 22 дойдет до упора, верхний выступ вилки перестанет воздействовать на рычаг 17. Сила воздействия штока 19 на вилку 22 станет больше силы сжатой пружины 8. Снижение давления от  $P_B$  до  $P_A$  рычаг 17 под действием пружины 8, отойдет от верхнего выступа вилки 22 и повернувшись до положения  $\varphi_1$ , отведет ось  $O_4$  левее линии  $O_5 - O_6$  и разомкнет контакты.

Таким образом, на размыкание контактов воздействует только пружина 8, а на замыкание – пружина 8 и 23. С уменьшением натяжения пружины 8 вращением винта 6 снижается давление выключения  $P_1$  но настолько же снижается и давление включения  $P_2$ , то есть величина дифференциала  $\Delta P = P_2 - P_1$ , не изменяется.

Изменение дифференциала осуществляется натяжением пружины 23 винтом 2 дифференциала за счет изменения значения давления включения  $P_2$ . При этом давление выключения  $P_1$  не изменяется.

При вращении винтов 2, 6 дифференциала и диапазона гайки 3 и 7, имеющие выступы с указателями, направляющей для которых служит шкала 4, перемещаются вверх или вниз, указывая стрелками значение дифференциала и давление выключения. Пластина 5 фиксирует положение винтов после регулировки.

В случае совпадения значения давления выключения, указанного на шкале, с фактическим (по манометру) используют юстировочный винт 16, которым изменяют угол между рычагами 17 и 9. При совпадении указанных давлений винт 16 закрепляют и пломбируют. Аналогично винтом 11 изменяют начальный зазор между контактами 14 и 15, т.е. величину дифференциала, пока она не совпадет со значением, указанным на шкале. Этот винт тоже пломбируют. Диапазон значений избыточного давления размыкания реле РД-1Б-01 может устанавливаться от 0,07 до 0,5 МПа. Дифференциал может устанавливаться от 0,04 до 0,25 МПа.

### 5.3 Описание лабораторной установки.

Функциональная схема лабораторной установки представлена на рисунке 5.6.

Лабораторная установка содержит компрессор 2 с электродвигателем 1, ресивер 3, распределительную гребенку 6, на которой установлены реле давления типа РД-1М, вентиль 4 подачи воздуха с компрессором на гребенку 6, вентиль 8 сброса воздуха, автоматический самопишущий прибор 10 с дифференциально-трансформаторной схемой типа КСД-1, вход которого соединен с манометром 9 типа МЭД, переключатель 11, предназначенный для переключения управления компрессора от КСД-1 к РД-1М, магнитный пускатель 12.

Передняя панель станда показана на рисунке 5.7, на которой расположены основные органы управления установкой: пакетный переключатель 1(S1) подачи напряжения на установку; тумблер S2 переключения управления компрессора от КСД-1 и реле давления РД-1М; тумблер S3, предназначенный для выбора режима управления (ручное, автоматическое); вентиль 4 подачи воздуха с компрессора на распределительную гребенку 6; вентиль 5 сброса воздуха; автоматический самопишущий прибор 10 типа КСД-1. На распределительной гребенке 6 расположены реле давления 7 типа РДМ-1М, показывающий манометр 8 типа МП, манометр 9 типа МЭД.

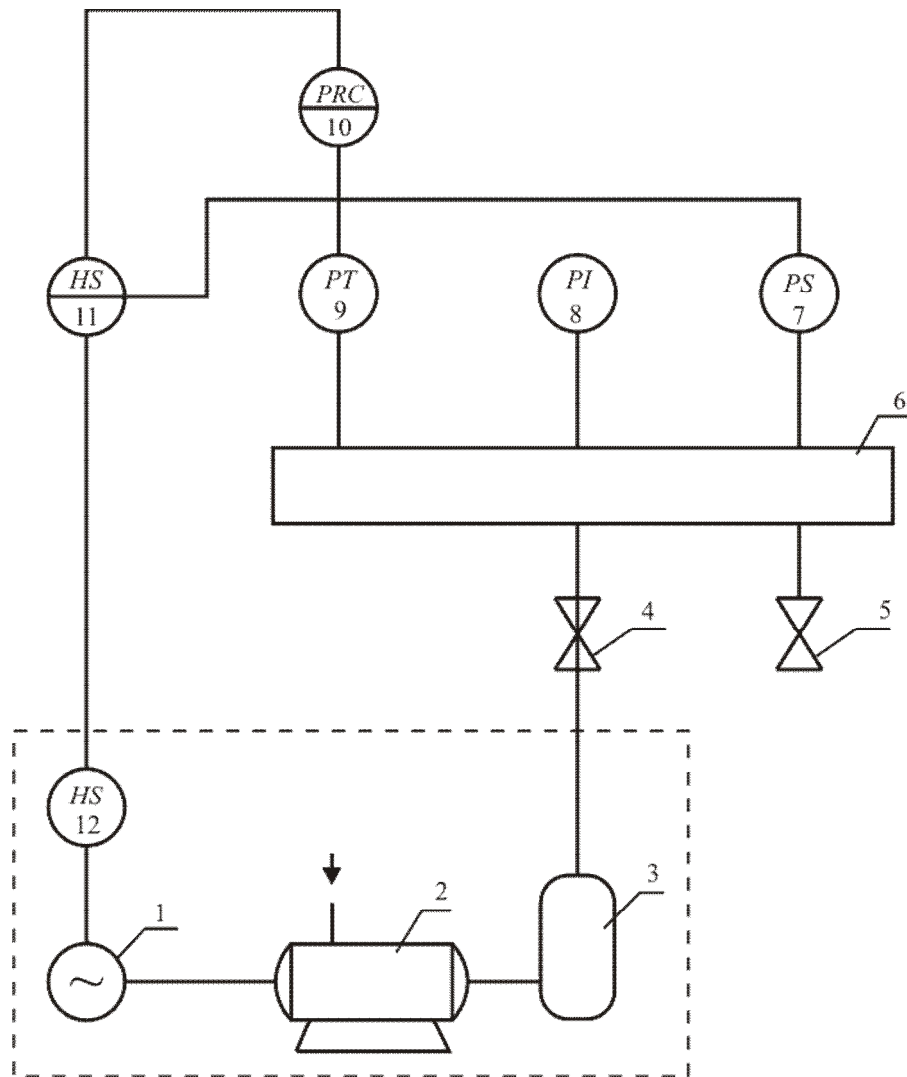


Рисунок 5.6 – Функциональная схема лабораторной установки

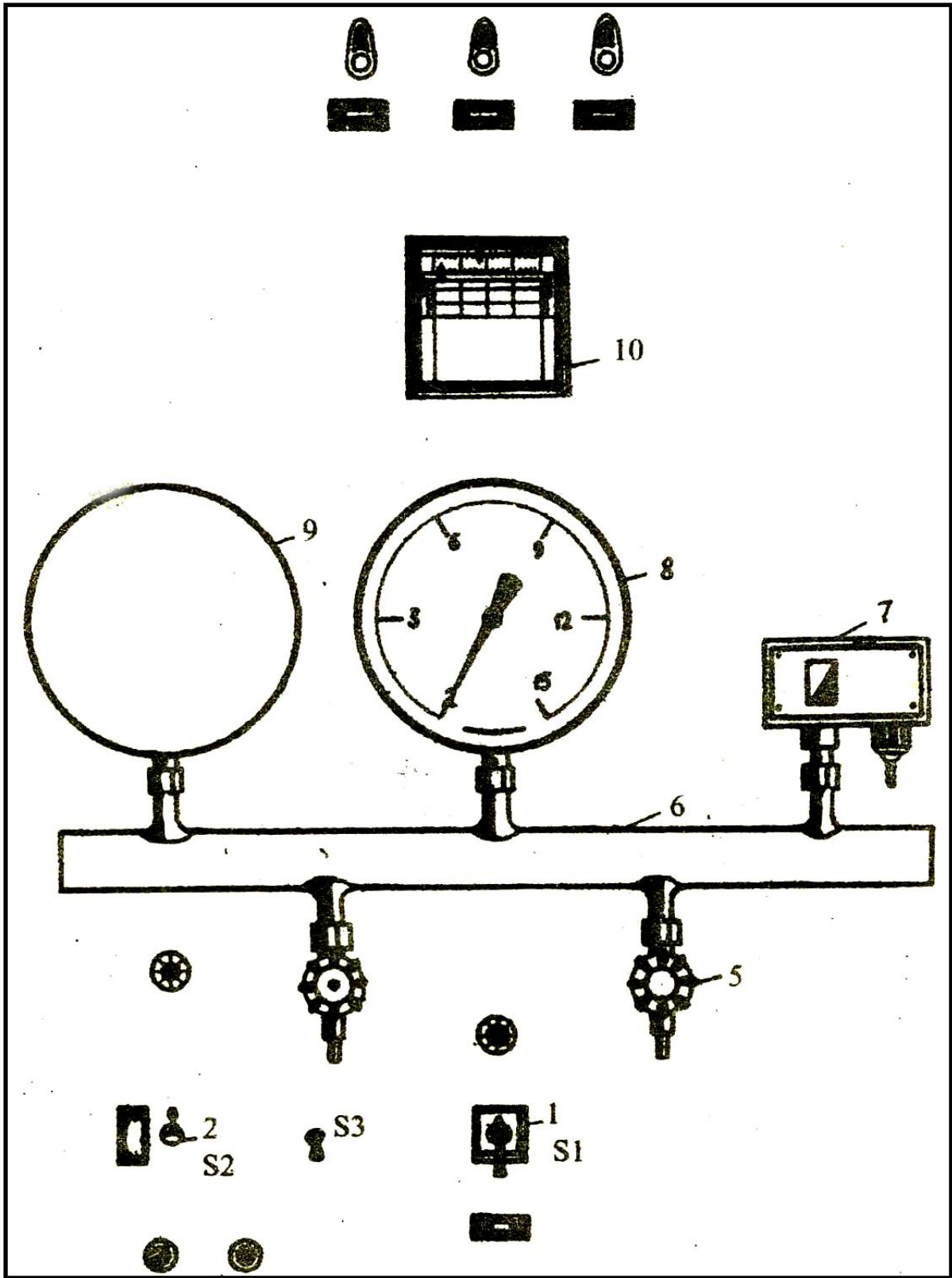


Рисунок 5.7 – Внешний вид лабораторного стенда

#### 5.4.Порядок выполнения работы:

1. Открыть вентиль 4 подачи воздуха с компрессора на распределительную гребенку и закрыть вентиль 5 сброса воздуха.
2. Переключить тумблер S2 в положение РД-1М.
3. Установить заданные рабочее давление и дифференциал срабатывания реле давления РД-1М (значение рабочего давления и дифференциала срабатывания задаются преподавателем).
4. Включить компрессор, для этого перевести ручку пакетного переключателя S1 в положение «1» и переключить тумблер S3 в положение «А». По контрольному манометру 8 фиксировать момент выключения компрессора.
5. Открыть вентиль 5 сброса воздуха и по контрольному манометру 8 зафиксировать момент включения компрессора.
6. Пункты 4 и 5 повторить 5 раз.
7. Определить погрешность установки регулятора РД-1М.
8. С помощью регулировочных винтов настроить регулятор давления РД-1М по контрольному манометру на заданные давление и дифференциал срабатывания.
9. Отключить компрессор путем перевода ручки пакетного переключателя S1 в положение «0».
- 10.Переключить тумблер S2 в положение МЭД.
- 11.На приборе КСД-1 установить регулирующие устройства в положение соответствующие рабочему давлению и дифференциалу срабатывания (верхний и нижний уровень).
- 12.Перевести ручку пакетного переключателя S1 в положение 1.
- 13.Включить прибор КСД 1 и через 2-3 минуты включить компрессор путем переключения тумблера S2 в положение «А».
- 14.Зафиксировать по контрольному манометру 8 моменты включения и выключения компрессора.
- 15.Определить погрешность установки регулирующего устройства прибора КСД-1.
- 16.Отключить компрессор, для этого перевести ручку пакетного переключателя в положение «0». Открыть вентиль 5 сброса воздуха.

#### 5.5 Требования к отчету

Отчет должен содержать: цель работы, функциональную схему лабораторного стенда, расчетные данные абсолютной и относительной погрешностей реле давления РД-1М и регулирующего устройства прибора КСД-1.

#### 5.6 Список рекомендуемой литературы:

1. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматики: учебное пособие / И.Ф. Бородин. - М. : Колос, 1982.
2. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2006. – 592с.

3. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2007. – 384с.
4. Датчики. Справочное пособие /Шарапов В.М., Минаев И.Г. и др. Черкассы: Брама-Украина, 2008, - 1072с.

Примечание: Все приложения к методическим указаниям находятся в библиотеке лаборатории автоматике и выдаются преподавателем во время занятий.

### 5.7 Вопросы для самоконтроля

1. Устройство и принцип действия регулятора давления типа РД-1М.
2. Устройство и принцип действия манометра типа МП.
3. Устройство и принцип действия манометра типа МЭД.
4. Чувствительные элементы деформационных манометров.
5. В каких единицах измеряется давление и соотношение между ними?
6. Использование датчиков давления в сельскохозяйственном производстве (привести конкретные примеры).
7. Устройство и принцип действия автоматического самопишущего прибора типа КСД-1.
8. Как произвести настройку регулятора давления типа РД-1М на заданное давление и дифференциал срабатывания?

## Лабораторная работа № 6

### Исследование систем двухпозиционного регулирования уровня воды в баке

6.1 Цель работы: ознакомиться с наиболее распространенными системами двухпозиционного регулирования уровня воды в башенных водокачках.

#### 6.2 Общие сведения

На животноводческих фермах и комплексах ежедневно расходует-ся большое количество воды на поение животных и птицы, уход за ними, приготовление кормов и другие цели.

Для обеспечения ферм и комплексов водой применяют три вида систем водоснабжения: башенные насосные установки (10... 12 м<sup>3</sup>/ч); башенные насосные установки (до 80 м<sup>3</sup>/ч); двухступенчатые системы (80... 120 м<sup>3</sup>/ч).

Водоснабжение – трудоемкий процесс, электрификация и автоматизация которого облегчает труд человека и повышает его производительность.

Основная задача автоматизация насосных станций – обеспечение четкого выполнения операций по пуску и остановке насосных агрегатов, контроль за работой и защитой их от аварийных режимов.

Для автоматизации башенных насосных установок применяют аппаратуру, состоящую из преобразователя уровня и станции управления. Наибольшее распространение получили электронные и манометрические преобразователи уровня, которые обеспечивают двухпозиционное регулирование насосного агрегата, т.е., выключают насос при достижении верхнего уровня и включает его при опорожнении регулируемого объема в баке, когда вода достигает отметки нижнего уровня.

До 90% насосных установок сельскохозяйственного водоснабжения составляют башенные водокачки Рожновского с погружными электродвигателями.

Для управления электродвигателями насосов используются различные станции управления (ПЭТ, СУНО, САУНА и Каскад). Станции управления типа ПЭТ на контактных элементах предназначена для управления электродвигателями мощностью от 1 до 65кВт. Станции управления типа УНО предназначены – для автоматизации насосных агрегатов с электродвигателями с короткозамкнутым ротором напряжением 380В и мощностью от 25 до 250кВт. Их используют для управления поверхностными и погружными электронасосами головных насосных установок и в системах водоснабжения крупных животноводческих комплексов. Станция СУНО обеспечивает пуск и остановку электронасосов при закрытой электрозадвижке, ручное и автоматическое, или телемеханическое управление насосным агрегатом, контроль и заливку насоса от групповой вакуумной установки, контроль наличия струи давления в водонапорном трубопроводе,

температуры нагрева подшипников электронасоса, напряжение в силовых цепях управления, а также подачу сигнала при аварийном отключении насосного агрегата с блокировкой, не допускающей пуска установки до ликвидации повреждения.

Система автоматического управления насосными агрегатами САУНА представлена станциями управления типа ШЭТ или ШЭП с преобразователем уровня. Предназначена для автоматического, местного и дистанционного управления центробежными скважинными насосами водоподъема с погружными электродвигателями мощностью от 1 до 65кВт, а также для защиты электронасоса от аварийных режимов. Она обеспечивает возможность контроля работы насоса с диспетчерского пульта управления. Станция состоит из силовой и логической частей. Станция выполнена в виде блока логики, который в зависимости от модификации станции собран либо на бесконтактных элементах серии «ЛОГИКА-Т» (ШЭТ), либо на полупроводниковых элементах, смонтированных на печатной плате (ШЭП).

Система обеспечивает выбор автоматического, дистанционного и местного режимов со станции управления, а также предусматривает возможность управления электронасосами с диспетчерского пульта с помощью устройства, формирующего кратковременные сигналы управления, или от устройства телемеханики путем подачи команд на исполнительное реле включения или отключения. Система управления обеспечивает защиту электродвигателя при обрыве фаз, коротком замыкании и перегрузках. Автоматическое управление электронасосом осуществляется в зависимости от уровня воды в баке водонапорной башни или резервуаре.

Станция управления типа ШЭТ выполнена в виде шкафа навесного исполнения, внутри которого смонтирована пусковая и защитная аппаратура (силовая и логическая часть станции). Логическая часть станции выполнена в виде блока логики, который собран на бесконтактных элементах серии «ЛОГИКА-Т» и обеспечивает по цепям управления и защиты формирование сигналов на включение и отключение электродвигателя насоса.

Электроды датчиков уровней воды выполнены в виде металлического стержня, который в месте подсоединения провода спрессован полиэтиленом.

Схема работает следующим образом (рисунок 6.1). При подаче напряжения 220/380 в схему при пустом баке контакты нижнего (КНУ) и верхнего (КВУ) уровня разомкнуты, ток через обмотки реле К2, К3 не протекает. Контакты К2.1 и К3.1 замкнуты. Напряжение 220В от фазы С подается на катушку магнитного пускателя КМ1, который своими контактами КМ1.2 подключает электродвигатель насоса, одновременно замыкается контакт КМ1.1. При достижении нижнего уровня контакт КНУ замыкается, включается реле К2 и контакт К2.1 размыкается. Напряжение на КМ1 подается через контакты КМ1.1 и К3.1. При достижении водой верхнего уровня контакт КВУ размыкается, обесточивает катушку реле К3. Контакты реле К3.1 размыкаются. Обесточивается магнитный пускатель КМ1, отключается электродвигатель насоса.

По мере расхода воды уменьшается уровень воды в баке, размыкается контакт КВУ, отключается реле К3, размыкая контакты К3.1. При дальнейшем понижении уровня воды размыкаются контакты КНУ, отключается реле К2, подключая контактами К2.1 катушку магнитного пускателя КМ1, включается электродвигатель насоса, начинается наполнение бака.

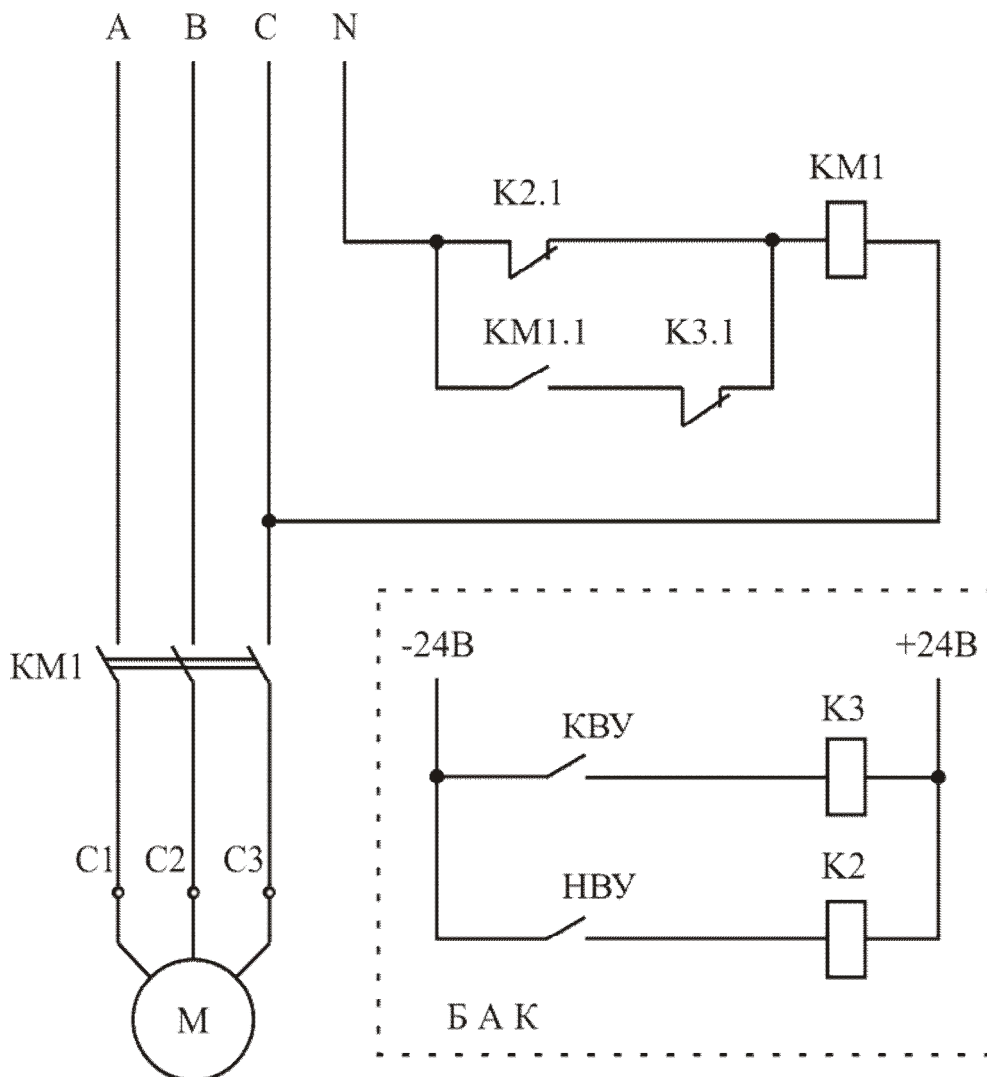


Рисунок 6.1 – Схема электрическая принципиальная лабораторной установки

### 6.3 Описание лабораторной установки.

Установка содержит бак с водой, насос, электродвигатель насоса, магнитный пускатель, блок ручного управления, регулятор уровня на контактных элементах, станция управления типа ШЭТ 5801, электродный датчик уровней, дифференциальный манометр типа ДМ, автоматический самопишущий прибор с дифференциально-трансформаторной схемой типа КСД-2, емкость с жидкостью, в которой осуществляется регулирования уровня, емкость с эталонным столбом жидкости, мерная линейка, шланги

наливные и сливные, регулирующие краны, установленные на сливе жидкости из емкостей в бак.

#### 6.4. Порядок выполнения работы.

1. Изучить устройство лабораторной установки.
2. Подать напряжение на лабораторную установку, для этого перевести ключ пакетного выключателя в положение «ВКЛ».
3. Переключить тумблер в положение «САУНА».
4. Переключить тумблер «Режим работы» на станции управления в положение М (местный).
5. Включить автоматический выключатель «Напряжение».  
Переключить станцию управления на автоматический режим, для этого установить тумблер в положение А (автоматический). При отсутствии воды в емкости контакты нижнего и верхнего уровней не омываются водой. Нулевой сигнал от датчиков поступает в блок логики, который формирует сигнал на включение пускателя и электродвигателя насоса. В емкость начинает поступать вода. При достижении водой контактов верхнего уровня электродвигатель насоса отключается и остается отключенным при дальнейшем разборе воды потребителем. В момент выхода из воды контактов нижнего уровня блок логики вновь формирует сигнал на включение электродвигателя насоса. Цикл работы повторяется.
6. По шкале мерной линейки зафиксировать значения уровней включения и отключения электродвигателя насоса.
7. Перевести тумблер в положение М (местный), отключить автоматический выключатель, пакетный переключатель в положение «ВЫКЛ».
8. Собрать схему в соответствии с рисунком 6.1.
9. Пакетный выключатель перевести в положение «ВКЛ».
10. По мерной линейке зафиксировать значения включения и отключения электродвигателя насоса.

#### 6.5 Требования к отчету.

Отчет должен содержать: цель работы, схему электрическую принципиальную лабораторной установки, таблицы с расчетными и экспериментальными данными, выводы.

#### 6.6 Список рекомендуемой литературы:

1. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматики / И.Ф. Бородин. - М. : Колос, 1982.
2. И.Г. Минаев, Е.Н. Малый // Известия вузов СССР "Машиностроение". - 1971. - №9. - С.170- 172.

3. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2006. – 592с.
4. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2007. – 384с.
5. Датчики. Справочное пособие /Шарапов В.М., Минаев И.Г. и др. Черкассы: Брама-Украина, 2008, - 1072с.
6. Колесов, Л.В. Основы автоматики. - М: Колос, 1984.

Примечание: Все приложения к методическим указаниям находятся в библиотеке лаборатории автоматики и выдаются преподавателем во время занятий.

#### 6.7 Вопросы для самоконтроля

1. Какие преобразователи уровня Вы знаете?
2. Какие станции управления насосами Вы знаете?
3. Опишите конструкцию датчиков уровня воды.
4. Объясните, как работает схема управления, представленная на рисунке

## Литература

1. Введение в теорию автоматического регулирования : учеб. пособие / И. Г. Минаев, В. В. Самойленко, Д. Г. Ушкур. – Ставрополь, АГРУС Ставропольского гос. Аграрного ун-та, 2019. – 172с. : ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учебных заведений).
2. ЭБ «Труды ученых СтГАУ» : Свободно программируемые устройства в автоматизированных системах управления [электронный полный текст] : учеб. пособие / И. Г. Минаев, В. В. Самойленко, Д. Г. Ушкур, И. В. Федоренко ; СтГАУ. – Ставрополь : АГРУС, 2016. - 18,4 МБ.
3. ЭБ «Труды ученых СтГАУ» : Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления [электронный полный текст] : учеб. пособие для студентов вызов по специальностям: 110302.65 – Электрификация и автоматизация сел. хоз-ва; 140211.65 – Электроснабжение; 110301.65 – Механизация сел. хоз-ва; 260204.65 – Технология бродильных пр-в и виноделие / И. Г. Минаев [и др.]. СтГАУ. - 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь : АГРУС, 2010. – 10,41 МБ. – (Гр. УМО).
4. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления : учеб. пособие для студентов вызов по специальностям: 110302.65 – Электрификация и автоматизация сел. хоз-ва; 140211.65 – Электроснабжение; 110301.65 – Механизация сел. хоз-ва; 260204.65 – Технология бродильных пр-в и виноделие / И. Г. Минаев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь, АГРУС, 2010. – 128. – (Гр. УМО).