

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

Грязовецкий политехнический техникум
имени Героя Российской Федерации, кавалера ордена
«За заслуги перед Отечеством» II степени
Юрия Михайловича Попова

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
по учебной дисциплине:
ОП. 13 «ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ»

Специальность: 35.02.08

Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

г. Грязовец

2018 г.

Рассмотрено

цикловой комиссией по общепрофессиональным
дисциплинам и профессиональным модулям
отделения «Электрификация
и автоматизация сельского хозяйства»

Протокол № 1 от « 30 » августа 2018 г.

Председатель комиссии:

 Т. В. Невзорова

Согласовано

зам. директора по ОМР

 Е. А. Ткаченко
« 30 » августа 2018 г.

Пояснительная записка

Пакет инструкционных карт разработан на основании программы учебной дисциплины ОП.13 «Основы автоматики» для специальности 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

В результате изучения дисциплины «Основы автоматики» студент должен уметь:

- ✓ рассчитывать основные характеристики элементов автоматики;
- ✓ читать принципиальные, структурные, функциональные схемы автоматики;
- ✓ составлять схемы задающих и сравнивающих устройств;
- ✓ проводить испытание датчиков;
- ✓ проводить сборку схем автоматики на интегральных логических элементах;
- ✓ определять устойчивость систем автоматического управления.

При изучении дисциплины необходимо постоянно обращать внимание на необходимость проведения практических занятий, так как практические навыки могут быть использованы в будущей профессиональной деятельности.

Курс учебной дисциплины ОП.13 «Основы автоматики» по рассчитан на 108 часов максимальной нагрузки, из них 40 часов – практические работы.

Практические занятия проводятся целой группой. Студенты работают в паре по инструкционным картам. Все практические работы оформляются в отдельную рабочую тетрадь. Практические занятия рассчитаны на 2 и 4 часа, что отражено в тематическом плане.

Перечень практических работ и отрабатываемых профессиональных и общих компетенций

№ п/п	Название практической работы	Профессиональные и общие компетенции
1.	Изучение статических характеристик элементов систем автоматики – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
2.	Изучение динамических характеристик элементов систем автоматики – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
3.	Применение контактных и потенциометрических датчиков – 2 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
4.	Применение тензометрических и пьезоэлектрических датчиков – 2 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
5.	Применение термоэлектрических датчиков и датчиков Холла – 2 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
6.	Изучение электромагнитных реле автоматики и реле времени – 2 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
7.	Построение релейных схем по структурной формуле – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
8.	Составление схем на логических элементах по контактной схеме – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
9.	Изучение задающих и сравнивающих устройств – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
10.	Изучение принципа действия усилителей – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
11.	Определение устойчивости систем автоматического управления – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
12.	Определение надежности электрических схем – 4 часа	ОК 1-9 ПК 1.3, ПК 3.1
Всего практических работ		12

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 1

Практическая работа

Наименование работы: Изучение статических характеристик элементов систем автоматики.

Цель: Получить практические навыки по расчету основных характеристик элементов автоматики.

Время выполнения: 4 часа

Краткие теоретические сведения

Статическим режимом называют состояние системы (элемента), при котором управляемая (выходная) величина Y не изменяется во времени.

Статические характеристики элемента или системы устанавливают связь между входным и выходным параметрами в установившемся режиме. Статика системы регулирования определяет характеристику установившихся состояний:

$$y_{\text{вых}} = f(x_{\text{вых}})$$

Эта зависимость может быть как линейной, так и нелинейной. Большинство реальных статических характеристик нелинейно. Статические характеристики могут быть представлены графически, аналитически или в виде таблиц.

Параметры статических характеристик:

1) Статический коэффициент передачи – это отношение выходной величины Y к входной величине X . Он численно равен отношению их значений, например, y_1 к x_1 или тангенсу угла наклона статической характеристики, то есть $K_c = y_1/x_1 = \tan \alpha$

2) Динамический коэффициент передачи – это отношение дифференциала выходного сигнала dy к дифференциальному входного сигнала dx , он приблизительно равен отношению приращений Δy к Δx :

$$K_d = dy/dx = \Delta y/\Delta x = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) = \tan \beta$$

3) Относительный коэффициент передачи – это отношение выходной величины к входной, представленные в относительных единицах измерения

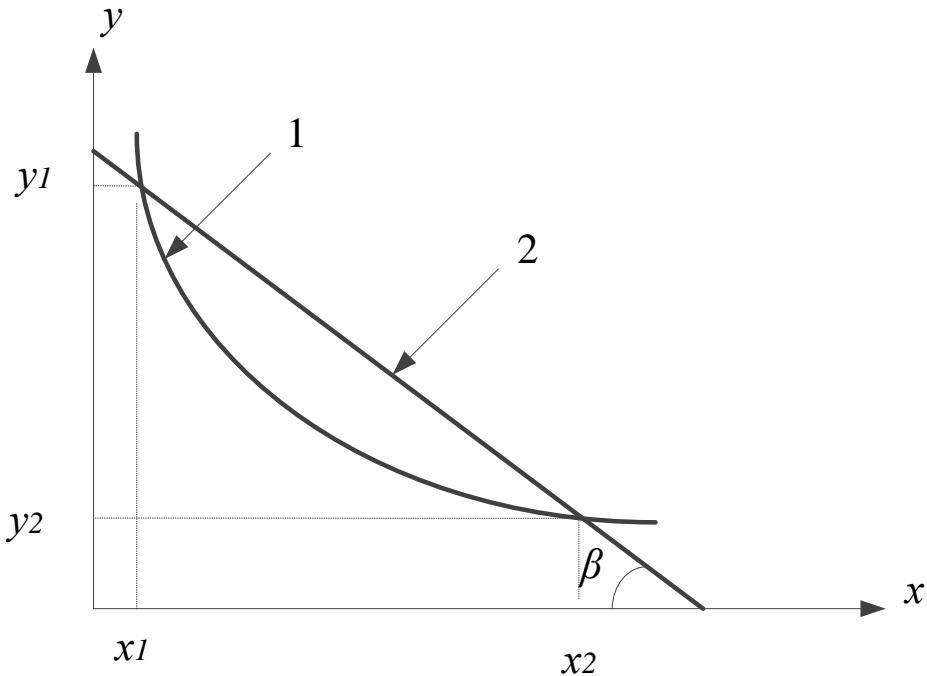
$$y^* = dy/y_n = \Delta y/y_n; \quad x^* = dx/x_n = \Delta x/x_n$$

$$K^* = y^*/x^* = (dy^*x_n) / (dx^* y_n) = (\Delta y^*x_n) / (\Delta x^* y_n)$$

где y_n , x_n – номинальные значения величин (параметров)

Нелинейные статические характеристики линеаризуют графически или аналитически.

При графической линеаризации линейную характеристику 1 заменяют на секущую 2 или касательную 2 к выбранной точке линеаризации (например, с параметрами y_n , x_n).



4) Абсолютная погрешность элемента – это отклонение полученного выходного параметра y_1 от его расчетного (номинального) значения y_n :

$$\delta_y = y_1 - y_n$$

5) Относительная погрешность – это отношение δ_y к значению выходного сигнала y_1 , выраженное в относительных единицах или процентах:

$$\lambda = \delta_y / y_1$$

6) Приведенная погрешность – это отношение δ_y к нормирующему (максимальному) значению y_n или диапазону изменения выходного сигнала Δy_n , выраженное в относительных единицах или процентах:

$$\gamma = \delta_y / y_n \text{ или } \gamma = \delta_y / \Delta y_n$$

Порядок выполнения работы

- В практической работе необходимо выполнить расчет статической характеристики. Алгоритм расчета рассмотрен в примере.
- Для расчета выбрать данные своего варианта и оформить в соответствии с примером.
- Ответить на контрольные вопросы письменно.

Пример расчета.

Экспериментально были получены точки статической характеристики $R=f(\Theta)$ датчика температуры (термистора) с координатами, указанными в таблице:

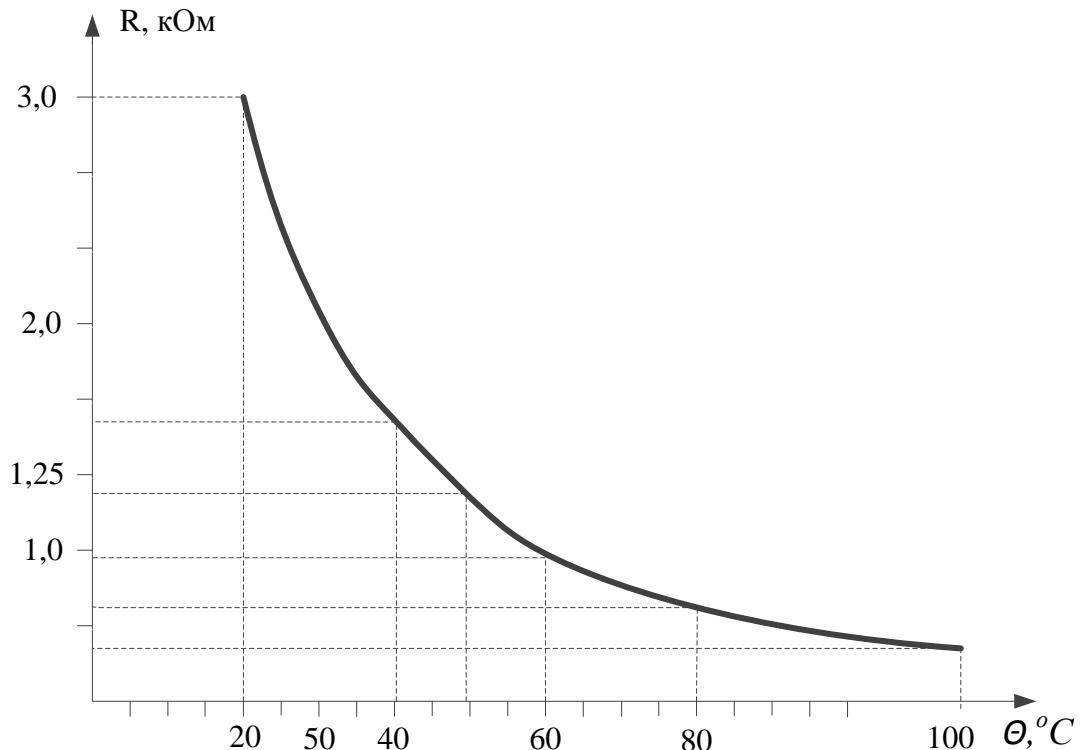
№ измерения	1	2	3	4	5
Измеряемая величина					
Температура теплоносителя, $\Theta, {}^{\circ}\text{C}$	20	40	60	80	100
Сопротивление датчика температуры, $R, \text{k}\Omega\text{m}$	3	1,62	0,98	0,65	0,41

Требуется:

1. Изобразить графически статическую характеристику датчика температуры $R_r = f(\Theta)$.
2. По зависимости $R_r = f(\Theta)$ в диапазоне температуры $20\dots40{}^{\circ}\text{C}$ определить все коэффициенты передачи, приняв в качестве номинальных среднее значение диапазона.
3. Определить значения сопротивления датчика температуры R_{∞} при $\Theta \rightarrow \infty$, коэффициента B , характеризующего термочувствительность резистора.
4. Записать аналитическое выражение статической характеристики датчика $R_a = f(\Theta)$.
5. Для заданного диапазона (трех его точек) определить погрешности измерения, приняв за расчетные значения сопротивления термистора, определенные графически (R_r).

Решение.

- Строим статическую характеристику $R_r = f(\Theta)$



- В заданном диапазоне $\Theta_2=40^\circ C$ и $\Theta_1=20^\circ C$ определяем по статической характеристике $R_r = f(\Theta)$ значения R_{T2} при $\Theta_2=40^\circ C$ и R_{T1} при $\Theta_1=20^\circ C$.

$$R_{T2} = 1,62 \text{ кОм}; \quad R_{T1} = 3 \text{ кОм}$$

Динамический коэффициент передачи

$$K_d \approx \Delta y / \Delta x = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = (R_{T2} - R_{T1}) / (\Theta_2 - \Theta_1) = (1,62 - 3) / (40 - 20) = - 6,9 \cdot 10^{-2} \text{ кОм/}^\circ\text{C}$$

Относительный коэффициент передачи

$$K^* = \Delta y * x_h / \Delta x * y_h = \frac{(R_{T2} - R_{T1}) * x_h}{(\Theta_2 - \Theta_1) * y_h} = \frac{(1,62 - 3) * 30}{(40 - 20) * 2,31} = \frac{-41,4}{46,2} = -0,896$$

где $x_h = (\Theta_2 + \Theta_1) / 2 = (40 + 20) / 2 = 30^\circ C$ – среднее значение температуры Θ_{cp} ,

$y_h = (R_{T2} - R_{T1}) / 2 = (1,62 + 3) / 2 = 2,31$ – среднее значение сопротивления датчика R_{Tcp} .

- Для определения значения сопротивления датчика температуры R_∞ при $\Theta \rightarrow \infty$ и коэффициента В составим и решим систему уравнений

$$R_{T1} = R_\infty * e^{B/(\theta_1 + 273)}$$

$$R_{T2} = R_\infty * e^{B/(\theta_2 + 273)}$$

Подставим значения R_T и θ :

$$3 = R_\infty * e^{B/(20 + 273)}$$

$$1,62 = R_\infty * e^{B/(40 + 273)}$$

Поделим равенства:

$$1,85 = 1 * e^{(B/293 - B/313)} = e^{0,22 * 10^{-3} B}$$

Прологарифмируем:

$$\ln 1,85 = 0,22 * 10^{-3} B * \ln e$$

$$0,615 = 0,22 * 10^{-3} B * 1$$

$$\text{Тогда } B = 0,615 / 0,22 * 10^{-3} = 2795^\circ\text{C}$$

$$R_\infty = R_{T2} / e^{B/(\theta_2 + 273)} = 1,62 / e^{2795/313} = 1,62 / e^{8,9} = 1,62 / 7332 = 2,2 * 10^{-4} \text{ кОм}$$

4. Запишем аналитическое выражение статической характеристики датчика:

$$R_a = f(\theta) \text{ при } R_\infty = 2,2 * 10^{-4} \text{ кОм и } B = 2795^\circ\text{C}$$

$$R_a = R_\infty * e^{B/(\theta + 273)} = 2,2 * 10^{-4} * e^{2795/(\theta + 273)}$$

5. Определим погрешности измерения:

$$5.1. \quad \text{абсолютная} \quad \delta_y = y_1 - y_h = 3 - 2,31 = 0,69$$

где $y_h = 2,31$; $x_h = 30^\circ\text{C}$ по статической характеристике датчика;

$$5.2. \quad \text{относительная} \quad \lambda = \delta_y / y_1 = 0,69 / 3 = 0,23$$

$$5.3. \quad \text{приведенная} \quad \gamma = \delta_y / y_N = 0,69 / 3 = 0,23$$

где y_N – максимальное значение выходной величины.

Варианты заданий

№ варианта	Диапазон температуры, °C
1	20...40
2	30...50
3	40...50
4	50...70
5	60...80
6	70...90
7	80...100
8	90...100
9	50...70
10	70...90
11	60...40
12	30...40
13	70...80
14	50...70
15	60...80
16	70...90
17	80...100
18	90...100
19	50...70
20	70...90
21	20...40
22	30...50
23	40...50
24	50...70
25	70...90

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию по построению САР.
2. Какие признаки элементов системы управления отражаются на ее функциональной схеме?
3. Назовите наиболее распространенные функциональные элементы систем управления.
4. Как влияет коэффициент усиления системы на точность ее работы?
5. Что отражает алгоритмическая схема системы управления?
6. Приведите примеры элементарных алгоритмических звеньев.
7. На какие три класса разделяются системы управления в зависимости от характера изменения задающего воздействия и управляемой величины?

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 2

Практическая работа

Наименование работы: Изучение динамических характеристик элементов систем автоматики.

Цель: Получить практические навыки по расчету основных характеристик элементов автоматики.

Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

Уравнения элементов САУ обуславливаются их физической природой и составляются на основании законов механики, электротехники, гидродинамики. Для удобства исследования САУ установлены типовые возмущающие $\Delta x = f(t)$ и управляющие $\Delta x = g(t)$ воздействия.

Типовые воздействия на элементы автоматики различной физической природы позволяют описать переходные процессы одними и теми же дифференциальными уравнениями, что позволяет отразить типизацию элементов по виду этого уравнения. Уравнение принято записывать в оперативной форме, вводя оператор: $p = d/dt$

Из уравнения в операторной форме находят передаточную функцию:

$$W(p) = y(p)/x(p)$$

По виду передаточной функции выделяют шесть простейших типовых позиционных звеньев:

1. Безынерционное (пропорциональное): $W(p) = \kappa$
2. Апериодическое звено первого порядка (инерционное): $W(p) = \kappa/(Tp+1)$
3. Колебательное и апериодическое звено второго порядка:

$$W(p) = \kappa / (T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)$$

4. Идеальное дифференцирующее звено: $W(p) = kp$
5. Реальное дифференцирующее звено: $W(p) = \kappa Tp / (Tp+1)$
6. Интегрирующее звено: $W(p) = 1/Tp$
7. Запаздывающее звено: $W(p) = \kappa * e^{-pt}$

Порядок выполнения работы

- 1.** Дайте определение элементов САУ.
- 2.** Поясните назначение элементов САУ.
- 3.** Поясните принцип действия элементов САУ.
- 4.** Опишите устройство элементов САУ.
- 5.** Укажите тип динамического звена элементов САУ.
- 6.** Начертите схему элементов САУ.
- 7.** Приведите примеры применения элементов САУ.

Наименование элементов САУ для выполнения задания необходимо взять из варианта задания.

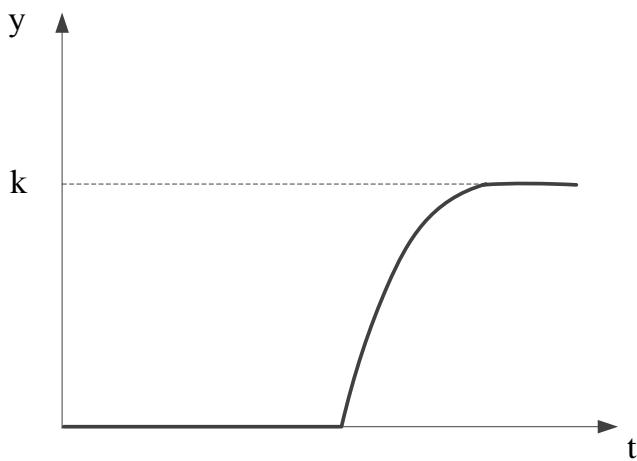
Примеры выполнения:

Пример 1:

Датчики плотности жидкых продуктов создают с использованием ПИП поплавкового или гидростатического типа. Принцип действия ПИП поплавкового типа основан на том, что выталкивающая сила, действующая на поплавок, пропорциональна плотности жидкости. Если поплавок плавающий, то глубина его погружения будет тем меньше, чем меньше плотность жидкости. Если удерживать поплавок на постоянной глубине погружения, то величиной, пропорциональной плотности жидкости будет требуемое усилие удержание.

Принцип действия гидростатических ПИП основан на том, что давление воздуха при продувке его через трубу, вертикально помещенную в жидкость, зависит от плотности жидкости.

Динамическая характеристика представлена на рисунке в виде апериодического звена первого порядка (инерционное):



Передаточная функция – $W(p) = k / (Tp + 1)$

Частотные характеристики:

амплитудная – $K(w) = k / \sqrt{1 + T^2 w^2}$

фазовая – $\varphi(w) = -\arctg(wT)$

амплитудно-фазовая – $W(jw) = k / (Tjw + 1)$

Примеры инерционных звеньев: емкость с самовыравниванием, контактный теплообменник, термопара, контуры цепей RC и LC, электрический генератор, электродвигатели, магнитные и электромагнитные усилители и другие устройства, в которых переходный процесс завершается не мгновенно, а в течение определенного времени $t = (3\dots 4)T$,

где T – постоянная времени, характеризующая инерционность процесса.

Пример 2.

Вода, пар, газ, жидкое топливо, растворы и смеси, а также теплота и электроэнергия, используемые в производстве, переработке и хранении сельскохозяйственной продукции, расход и количество которых необходимо контролировать, регулировать и учитывать с целью оптимизации ТП.

Расход вещества – это объем или его масса, проходящие через поперечное сечение транспортного канала в единицу времени. Расход измеряется датчиками расхода, которые часто называют расходомерами.

Количество вещества – это объем или его масса, проходящие через поперечное сечение транспортного канала за определенный промежуток времени. Его измеряют счетчиками и измерителями веса. Счетчики вещества представляют собой конструктивно объемный или массовый расходомер и интегратор. Выходной сигнал интегратора может быть использован в системах

автоматического управления. По принципу действия ПИП различают расходомеры с сужающим устройством, ротаметрические, тахометрические, электромагнитные и ультразвуковые.

Тахометрические расходомеры. Принцип действия их основан на зависимости числа оборотов подвижного элемента (им могут быть крыльчатки, шарики, турбинки, шестерни) от расхода или объема жидкости или газа.

Для учета количества воды применяют крыльчатые счетчики типа ВСКМ и турбинные типа СТВ, СТВГ. На базе счетчиков воды типа СТВ разработаны счетчики с электрическим выходным сигналом и счетчики тепловой энергии – теплосчетчики ТЭМ-1.

Расход и количество газа определяют с помощью турбинного расходомера счетчика газа типа «Тургас», оборудованного электронными блоками: БИР-1 с выходным сигналом 0...5 мА постоянного тока, пропорционального расходу, или БИР-2 с интегрирующим устройством и шестиразрядным счетчиком для измерения суммарного количества газа.

Расход и количество высоковязких жидкостей учитывают расходомерами и счетчиками типа ШЖУ и ШЖО, в качестве ПИП которых используется пара овальных шестерен. За один полный оборот шестерен, вращающихся под действием разности давлений $\Delta P = P_1 - P_2$, измельчительные полости 1 дважды заполняются и опорожняются, отсчитывая четыре порции жидкости.

Наиболее распространенным объемным счетчиком жидких веществ является счетчик с овальными шестернями.

Внутри корпуса 3 размещены две находящиеся в зацеплении овальные шестерни 1 и 2. Набегающий на шестерни измеряемый поток создает на них перепад давления P_1 и P_2 . Под действием этого перепада поток в положении, показанном на рис.а, создает на овальной шестерне 1 крутящий момент и заставляет вращаться эту шестерню, которая ведет шестернию 2. В положении, показанном на рис.б, крутящий момент возникает на обеих шестернях, а в положении на рис.16.1, в крутящий момент действует на шестернию 2, которая теперь ведет шестернию 1.

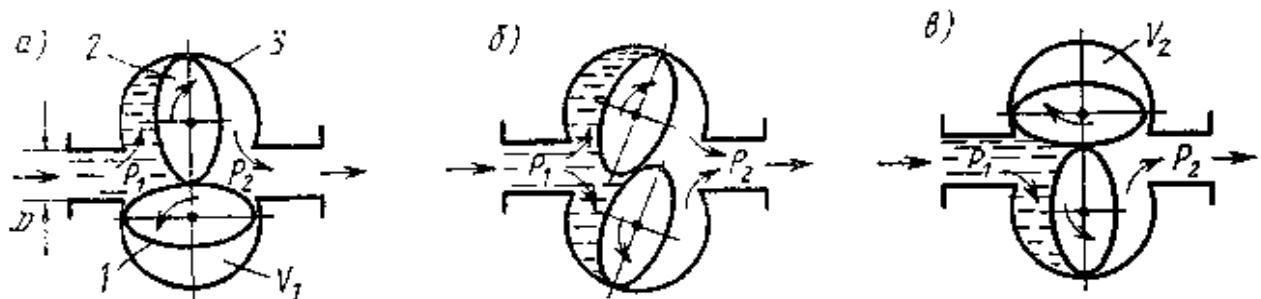
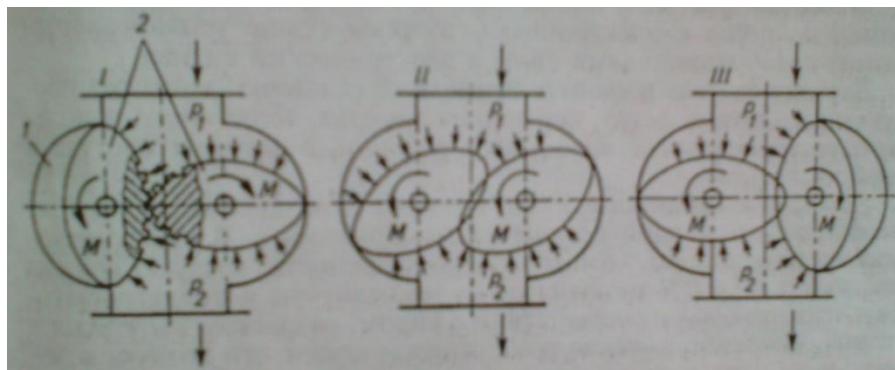


Рис. Схема счетчика с овальными шестернями.



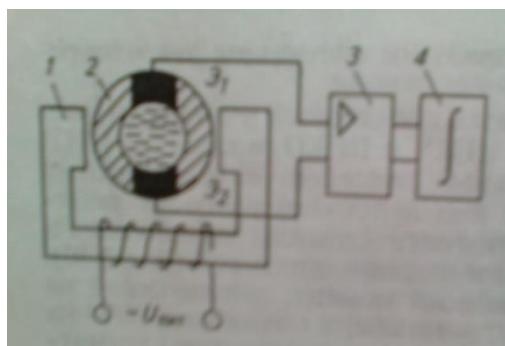
Счетчик с овальными шестернями: 1 – полость, заполняемая жидкостью; 2 – шестерни; М – вращающий момент на шестернях.

В положении I создается вращающий момент, действующий на левую шестерню, в положении II – на обе, в положении III – на правую шестерню. Вращение шестерен передается через магнитную муфту ВИП расходомера счетчику или соответствующему регулятору.

Электромагнитные расходомеры. Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на измерении ЭДС, наводимой в перемещающейся электропроводной жидкости (воде, растворах, пульпах) и пересекающей магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны оси трубопровода. Питание их электромагнита 1 осуществляется переменным напряжением $U_{\text{пит.}}$. ЭДС E , наводимая на электродах Э1 и Э2, установленных в изоляционной вставке трубопровода 2 и расположенных перпендикулярно силовым линиям электромагнита 1, пропорциональна скорости движения жидкости:

$$E = (4 * Q_o * B / \pi D) * \sin(2 * \pi * f * t)$$

где Q_o – объемный расход; B – электромагнитная индукция; D – диаметр трубопровода; f – частота переменного тока; t – время.



Блок-схема электромагнитного расходомера-счетчика: 1 – электромагнит; 2 – трубопровод; 3 – усилитель; 4 – интегратор.

Значение ЭДС увеличивается усилителем 3 и при необходимости передается на интегратор 4 типа С-1М. Нормированный выходной сигнал усилителя пропорционален расходу, а выходной сигнал интегратора – объему жидкости, протекающей через поперечное сечение трубопровода.

Ультразвуковые расходомеры позволяют измерять расходы любых жидких сред с помощью ультразвуковых колебаний на частотах более 20 кГц. Они характеризуются высоким быстродействием, устойчивостью к помехам, возможностью бесконтактных измерений и достаточно высокой точностью.

ПИП этих расходомеров состоит из двух приемопередатчиков ультразвуковых сигналов, которые, попеременно включаясь, фиксируют прохождение ультразвука вдоль потока и навстречу ему. Расход определяют по формуле $Q = k \cdot v \cdot F$,

где k – коэффициент, зависящий от выбранного метода измерения и параметров основных элементов преобразователя;

v – скорость движения жидкости; F – площадь поперечного сечения трубопровода.

Для определения объемного расхода сыпучих материалов используют дозаторы, состоящие из бункера и питателя, который частями отбирает сырой материал из бункера. Питателем может быть лента транспортера, крыльчатки, вибропитатели.

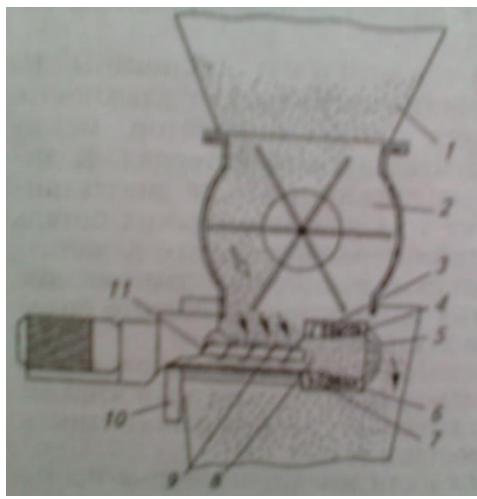
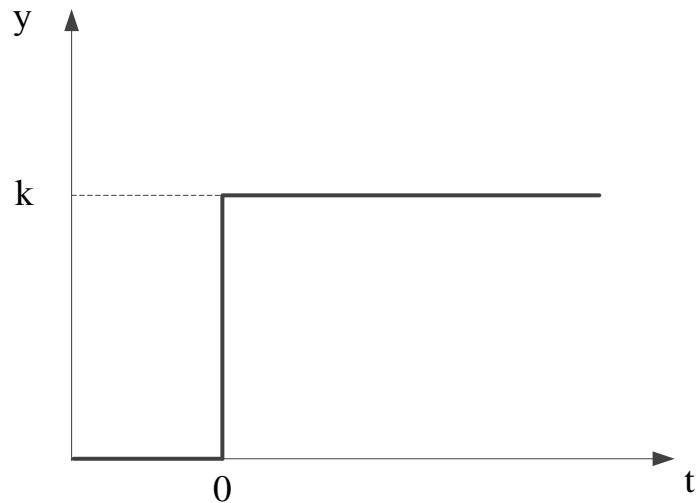


Схема установки датчика влажности стебельных кормов ВП-1 на сушильном агрегате:

1 – циклон сушильного агрегата; 2 – шлюзовой затвор; 3 и 6 – кольцевые электроды; 4 – диэлектрик; 5 – уплотнитель; 7 – терморезистор; 8 и 9 – измерительная и загрузочная камеры датчика; 10 – вторичный преобразователь; 11 – шнек.

Массовый расход и массы сыпучих материалов определяют с помощью весов с электромеханическими (чаще тензорезисторными) преобразователями силы в электрический сигнал.

Динамическая характеристика представлена на рисунке в виде безынерционного (пропорционального) звена:



Его выходная величина $y(t)$ изменяется прямо пропорционально входной величине $x(t = 1)$.

Передаточная функция – $W(p) = k$

где k – передаточный коэффициент звена.

Частотная характеристика: $W(w) = k$

амплитудная – $k(w) = k$

фазовая – $\phi(w) = 0$

Примеры пропорциональных звеньев: манометрическая пружина, рычаг, зубчатый редуктор, усилитель постоянного тока, потенциометр и др.

Варианты заданий

№ варианта	Наименование элементов САУ
1	<ul style="list-style-type: none"> - Индуктивные первичные измерительные преобразователи (ПИП) датчиков перемещений; - Дифференциально-трансформаторные первичные измерительные преобразователи (ПИП) датчиков перемещений; - Датчики-реле контроля пламени; - Датчики влажности воздуха.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Контактные ПИП датчиков перемещений; - Потенциометрические ПИП датчиков перемещений; - Датчики веса; - Датчики состава газа.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Фотометрические ПИП датчиков перемещений; - Датчики вращения с фотодиодами; - Электромагнитные исполнительные механизмы; - Датчики температуры термоэлектрические.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Индукционные датчики вращения; - Датчики вращения с герконом; - Датчики угла поворота; - Датчики концентрации растворов.
5	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики давления; - Электромагнитные расходомеры; - Ультразвуковые расходомеры; - Датчики концентрации водородных ионов (pH-метры).
6	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики веса; - Датчики влажности воздуха; - Тахометрические расходомеры; - Электромагнитные расходомеры.
7	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики уровня жидкости; - Электронные регуляторы температуры типа ТМ; - Электронные регуляторы температуры типа ТЭ; - Индуктивные первичные измерительные преобразователи (ПИП) датчиков перемещений.
8	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики уровня сыпучих материалов; - Фотометрические ПИП датчиков перемещений; - Электромагнитные расходомеры; - Ультразвуковые расходомеры.
9	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики температуры контактные; - Датчики температуры дилатометрические; - Датчики-реле контроля пламени; - Датчики давления.
10	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики температуры манометрические;

	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики влажности воздуха; - Датчики концентрации растворов; - Электрические исполнительные механизмы типа МЭО.
11	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики температуры термоэлектрические; - Потенциометрические ПИП датчиков перемещений; - Датчики веса; - Датчики влажности воздуха.
12	<ul style="list-style-type: none"> - Расходомеры с сужающим устройством; - Ротометрические расходомеры; - Датчики-реле контроля пламени; - Датчики влажности воздуха.
13	<ul style="list-style-type: none"> - Тахометрические расходомеры; - Электромагнитные расходомеры; - Ультразвуковые расходомеры; - Датчики уровня сыпучих материалов.
14	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики влажности воздуха; - Электромагнитные исполнительные механизмы; - Датчики состава газа; - Датчики влажности воздуха.
15	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики относительной влажности твердых материалов; - Датчики относительной влажности сыпучих материалов; - Датчики-реле контроля пламени; - Датчики давления.
16	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики плотности жидких продуктов; - Датчики концентрации растворов; - Фотометрические ПИП датчиков перемещений; - Датчики вращения с фотодиодами.
17	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики концентрации водородных ионов (рН-метры); - Электронные регуляторы температуры типа РТ; - Ротометрические расходомеры; - Датчики-реле контроля пламени.
18	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики состава газа; - Индукционные датчики вращения; - Датчики вращения с герконом; - Датчики угла поворота.
19	<ul style="list-style-type: none"> - Электрические тахометры; - Электронные тахометры; - Электронные регуляторы температуры типа РТ; - Электронные регуляторы температуры типа ТЭ.
20	<ul style="list-style-type: none"> - Датчики-реле контроля пламени; - Тахометрические расходомеры; - Электромагнитные расходомеры; - Датчики влажности воздуха.
21	<ul style="list-style-type: none"> - Электрические исполнительные механизмы типа МЭО;

	<ul style="list-style-type: none"> - Электрические исполнительные механизмы типа МЭМ; - Датчики концентрации растворов; - Фотометрические ПИП датчиков перемещений.
22	<ul style="list-style-type: none"> - Электромагнитные исполнительные механизмы; - Датчики температуры термоэлектрические; - Индукционные датчики вращения; - Датчики состава газа.
23	<ul style="list-style-type: none"> - Электронные регуляторы температуры типа ТЭ; - Электронные регуляторы температуры типа ТМ; - Датчики температуры термоэлектрические; - Потенциометрические ПИП датчиков перемещений.
24	<ul style="list-style-type: none"> - Электронные регуляторы температуры типа РТ; - Датчики относительной влажности твердых материалов; - Электромагнитные расходомеры; - Датчики-реле контроля пламени.
25	<ul style="list-style-type: none"> - Программируемый микропроцессорный контроллер (ремиконт); - Дифференциально-трансформаторные первичные измерительные преобразователи (ПИП) датчиков перемещений; - Датчики-реле контроля пламени; - Индукционные датчики вращения.

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 3

Практическая работа

Наименование работы: Применение контактных и потенциометрических датчиков.

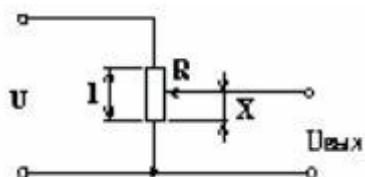
Цель: Изучить устройство, назначение, расчет и применение контактных и потенциометрических датчиков.

Время выполнения: 2 часа

Теоретические сведения.

Потенциометрический датчик представляет собой переменный резистор, к которому приложено питающее напряжение, его входной величиной является линейное или угловое перемещение токосъемного контакта, а выходной величиной – напряжение, снимаемое с этого контакта, изменяющееся по величине при изменении его положения. Потенциометр преобразует линейные или угловые перемещения в соответствующие величины напряжения, тока или сопротивления. За счет этого можно работать со многими неэлектрическими величинами: давлением, уровнем, расходом и др. Потенциометрические датчики, принцип действия которых заключается в измерении перемещения или места расположения положения, соединяются своими подвижными контактами переменного резистора с объектами. Это могут быть клапаны, антенны, режущие инструменты и многое другое. После подачи питания на датчик с него снимается сигнал положения движка потенциометра, как с делителя напряжения. Базовый метод регистрации во всех моделях остается одним и тем же, но имеются конструктивные отличия. Сигнал может сниматься напрямую или с помощью электронной схемы после его обработки и нормализации. Важно, чтобы он соответствовал определенным стандартам.

Потенциометрические датчики предназначены для преобразования линейных или угловых перемещений в электрический сигнал, а также для воспроизведения простейших функциональных зависимостей в автоматических и автоматических устройствах непрерывного типа.



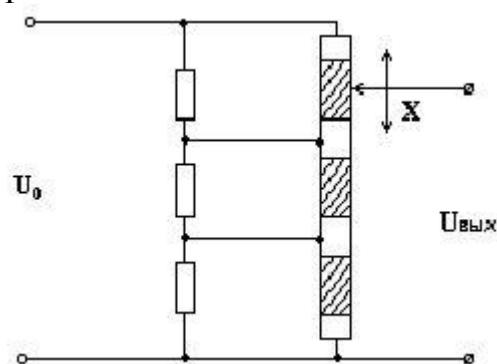
Электрическая схема потенциометрического датчика

По способу выполнения сопротивления потенциометрические датчики делятся на

- ламельные с постоянными сопротивлениями;
- проволочные с непрерывной намоткой;
- с резистивным слоем.



Ламельные потенциометрические датчики использовались для проведения относительно грубых измерений в силу определенных конструктивных недостатков. В таких датчиках постоянные резисторы, подобранные по номиналу специальным образом, припаиваются к ламелям. Ламель представляет собой конструкцию с чередующимися проводящими и непроводящими элементами, по которой скользит токосъемный контакт. При движении токосъемника от одного проводящего элемента к другому суммарное сопротивление подключенных к нему резисторов меняется на величину соответствующую номиналу одного сопротивления. Изменение сопротивлений может происходить в широких пределах. Погрешность измерений определяется размерами контактных площадок.



Ламельный потенциометрический датчик

Проволочные потенциометрические датчики предназначены для более точных измерений. Конструкции представляют собой каркас из гетинакса, текстолита или керамики, на который в один слой, виток к витку намотана тонкая проволока, по защищенной поверхности которой скользит токосъемник.

Диаметр проволоки определяет класс точности потенциометрического датчика (высокий-0,03-0,1 мм , низкий 0,1-0,4 мм). Материалы провода: манганин, фехраль, сплавы на основе благородных металлов. Токосъемник выполнен из более мягкого материала, чтобы исключить перетирание провода.

Преимущества потенциометрических датчиков:

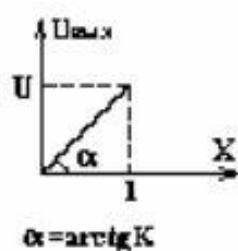
- простота конструкции;
- малые габариты и вес;
- высокая степень линейности статических характеристик;
- стабильность характеристик;
- возможность работы на переменном и постоянном токе.

Недостатки потенциометрических датчиков:

- наличие скользящего контакта, который может стать причиной отказов из-за окисления контактной дорожки, перетирания витков или отгибание ползунка;
- погрешность в работе за счет нагрузки;
- сравнительно небольшой коэффициент преобразования;
- высокий порог чувствительности;
- наличие шумов;
- подверженность электроэррозии под действием импульсных разрядов.



Статическая характеристика потенциометрических датчиков



$$\alpha = \arctan K$$

Рассмотрим на примере потенциометрического датчика с непрерывной намоткой. К зажимам потенциометра прикладывается переменное или постоянное напряжение U . Входной величиной является перемещение X , выходной – напряжение $U_{\text{вых}}$. Для режима холостого хода статическая характеристика датчика линейна т.к. справедливо соотношение: $U_{\text{вых}}=(U/R)*r$,

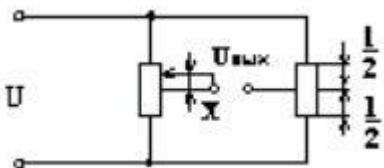
где R - сопротивление обмотки; r - сопротивление части обмотки.

Учитывая, что $r/R=x/l$, где l - общая длина намотки, получим:

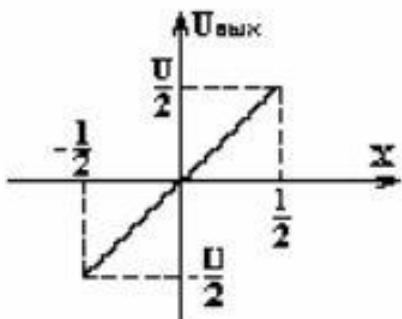
$$U_{\text{вых}} = (U/l) * x = K * x, \text{ В/м},$$

где K - коэффициент преобразования (передачи) датчика.

Такой датчик не будет реагировать на изменение знака входного сигнала (датчик нереверсивный). Существуют схемы чувствительные к изменению знаку. Статическая характеристика такого датчика имеет вид, представленный на рисунке.



Реверсивная схема потенциометрического датчика



Статическая характеристика реверсивного потенциометрического датчика

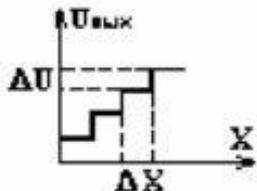
Полученные идеальные характеристики могут существенно отличаться от реальных за счет наличия различного рода погрешностей:

1. Зона нечувствительности.

Выходное напряжение меняется дискретно от витка к витку, т.е. возникает эта зона, когда при малом входной величине $U_{\text{вых}}$ не меняется.

Величина скачка напряжения определяется по формуле: $\Delta U = U/W$, где W - число витков.

Порог чувствительности определяется диаметром намоточного провода: $Dx = l/W$.



Зона нечувствительности потенциометрического датчика

2. Неравномерность статической характеристики из-за непостоянства диаметра провода, удельного сопротивления и шага намотки.

3. Погрешность от люфта, возникающего между осью вращения движка и направляющей втулкой (для уменьшения используют поджимные пружины).

4. Погрешность от трения.

При малых мощностях элемента приводящего в движение щетку потенциометрического датчика может возникать за счет трения зона застоя.

Необходимо тщательно регулировать нажим щетки.

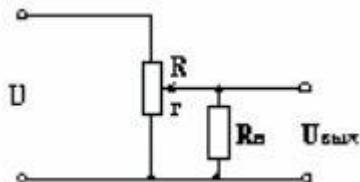
5. Погрешность от влияния нагрузки.

В зависимости от характера нагрузки возникает погрешность, как в статическом, так и в динамическом режимах. При активной нагрузке изменяется статическая характеристика. Величина выходного напряжения будет определяться в соответствии с выражением:

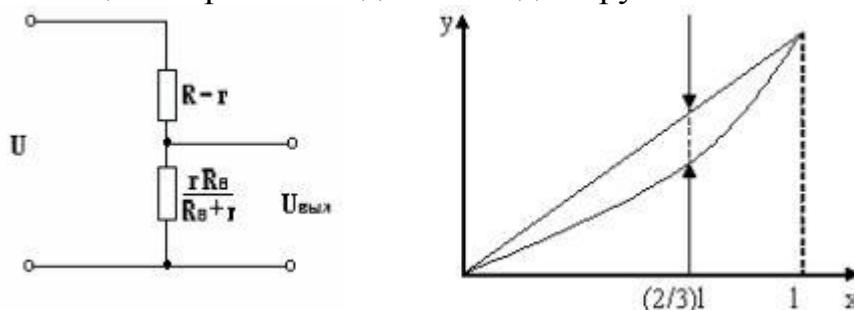
$$U_{\text{вых}} = (U_r * R_h) / (R * R_h + R_{r-r2})$$

Т.е. $U_{\text{вых}} = f(r)$ зависит от R_h . При $R_h \gg R$ можно показать, что $U_{\text{вых}} = (U/R)r$;

при R_h приблизительно равном R зависимость нелинейна, и максимальная погрешность датчика будет при отклонении движка на $(2/3)l$. Обычно выбирают $R_h/R = 10\dots 100$. Величина ошибки при $x = (2/3)l$ может быть определена из выражения: $E = 4/27\eta$, где $\eta = R_h/R$ - коэффициент нагрузки.



Потенциометрический датчик под нагрузкой



а - Эквивалентная схема потенциометрического датчика с нагрузкой, б - Влияние нагрузки на статическую характеристику потенциометрического датчика.

Динамические характеристики потенциометрических датчиков

Передаточная функция

Для вывода передаточной функции удобнее за выходную величину взять ток нагрузки, его можно определить, пользуясь теоремой об эквивалентном генераторе. $I_h = U_{\text{вых}0} / (R_{\text{вн}} + Z_h)$

Рассмотрим два случая:

1. Нагрузка чисто активная $Z_h = R_h$ т.к. $U_{\text{вых}0} = K_1 * I_h = K_1 / (R_{\text{вн}} + R_h)$

где K_1 – коэффициент передачи датчика на холостом ходу.

Применяя преобразование Лапласа, получим передаточную функцию $W(p)=I_h(p)/X(p)=K_1/(R_{bh}+R_h)=K$

Таким образом, мы получили безынерционное звено, то есть, датчик имеет все, соответствующие этому звену частотные и временные характеристики.

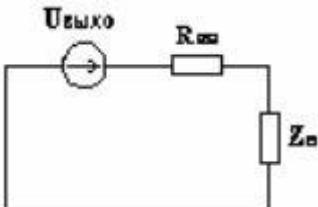


Схема замещения

2. Нагрузка индуктивная с наличием активной составляющей.

$$U=R_{bh}I_h+L(dI_h/dt)+R_hI_h$$

Применяя преобразование Лапласа, получим $U_{vykh}^*x(p)=I_h(p)[(R_{bh}+pL)+R_h]$

Путем преобразований можно прийти к передаточной функции вида $W(p)=K/(Tp+1)$ – апериодическое звено 1-го порядка,

$$\text{где } K=K_1/(R_{bh}+R_h)$$

$$T=L/(R_{bh}+R_h);$$

Собственные шумы потенциометрического датчика

Как было показано, при движении щетки от витка к витку напряжение на выходе меняется скачком. Погрешность, создаваемая ступенчатостью, имеет вид пилообразного напряжения, наложенного на выходное напряжение передаточной функции, т.е. представляет собой шум. При наличии вибрации щетки при движении также создается шум (помеха). Частотный спектр вибрационного шума лежит в области звуковых частот.

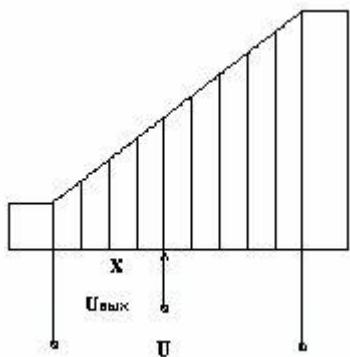
Для устранения вибрации токосъемники выполняют из нескольких проволочек различной длины сложенных вместе. Тогда собственная частота каждой проволочки будет различна, это препятствует появлению технического резонанса. Уровень тепловых шумов низок, их учитывают в особо чувствительных системах.

Функциональные потенциометрические датчики

Необходимо отметить, что в автоматике часто для получения нелинейных зависимостей используются функциональные передаточные функции. Их построение производится тремя способами:

- изменением диаметра проволоки вдоль намотки;
- изменением шага намотки;
- применением каркаса определенной конфигурации;
- шунтированием участков линейных потенциометров сопротивлениями различной величины.

Например, чтобы получить квадратичную зависимость по 3-му способу, нужно чтобы ширина каркаса изменялась по линейному закону, как это показано на рисунке.



Функциональный потенциометрический датчик

Принцип действия

Потенциометр преобразует линейные или угловые перемещения в соответствующие величины напряжения, тока или сопротивления. За счет этого можно работать со многими неэлектрическими величинами: давлением, уровнем, расходом и др.

Потенциометрические датчики, принцип действия которых заключается в измерении перемещения или места расположения положения, соединяются своими подвижными контактами переменного резистора с объектами. Это могут быть клапаны, антенны, режущие инструменты и многое другое. После подачи питания на датчик с него снимается сигнал положения движка потенциометра, как с делителя напряжения.

Базовый метод регистрации во всех моделях остается одним и тем же, но имеются конструктивные отличия. Сигнал может сниматься напрямую или с помощью электронной схемы после его обработки и нормализации. Важно, чтобы он соответствовал определенным стандартам.

Назначение

Потенциометрический датчик положения предназначен для следующих целей:

- контроль и измерение перемещений механизмов, рабочих органов машин и других объектов;
- звено обратной связи в робототехнике и в системах автоматики;
- определение расстояний до объектов;
- испытания в лабораториях, контроль работы механизмов.

Типы датчиков

Применение потенциометрического датчика зависит от типа:

1. T/TS – высокоточный прибор (0,075%), работающий в диапазоне осевых перемещений 150 мм. Подходит для окружной скорости до 10 м/с. Конструкция – обеспечение перемещения стержня в двух направлениях по принципу делителя напряжения.

2. TR/TRS – такой же, как предыдущий, но с возвратной пружиной. Перемещение достигает 100 мм. Выдерживает более высокие поперечные нагрузки на наконечнике.

3. TE1 – модель, которая содержит электронную схему для нормализации сигналов с аналоговым выходом.

4. TE1 с возвратной пружиной – модификация для решения более широкого круга задач. Датчик более устойчив при повышенных поперечных нагрузках.

5. TEX – потенциометрический датчик с поворотной головкой и с отслеживанием линейных перемещений объектов на расстояние до 300 мм. Шарнирное соединение облегчает монтаж и обеспечивает длительный срок эксплуатации.

6. TEX с приводной штангой с резьбой на конце. Даёт возможность жестко фиксировать объект.

7. TEX с возвратной пружиной не требует жесткого крепления объекта к штанге.

8. TX2 с поворотной головкой или с крепежными хомутами. Применяются в тяжелых условиях эксплуатации. Уровень защиты составляет IP 67, точность - 0,05%.



Применение потенциометров в датчиках давления

Параметры работы различных устройств удобно преобразовывать в электрические сигналы. Потенциометрический датчик давления жидкости или газа применяют в системах подачи топлива в машинах, газа в магистралях и т. п. Обычно это мембранные измерительные приборы.

Под действием перепада давления на обеих сторонах мембранные происходит ее перемещение. При этом также поворачивается ползун. Если давления P_0 и P_i равны между собой, движок переходит в исходное левое положение, при котором устанавливается начальное сопротивление прибора. Когда P_i уменьшается, мембра перемещается вправо, а ползунок устанавливает щетку потенциометра в положение, соответствующее перепаду давления.

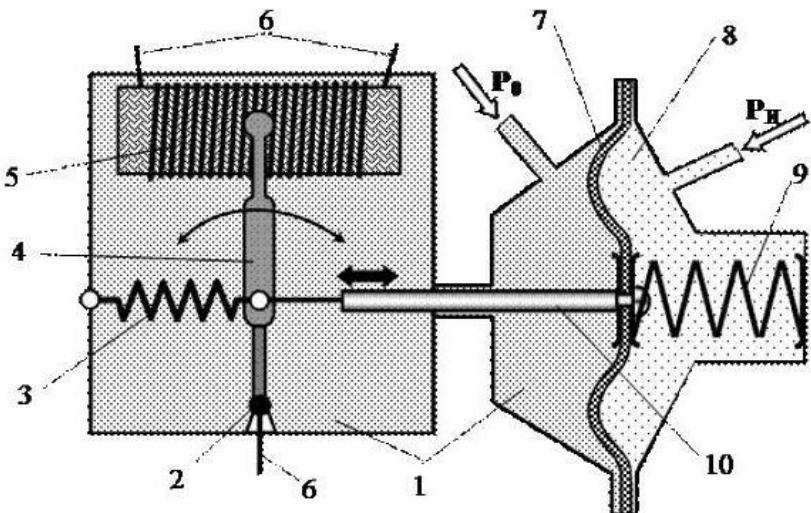


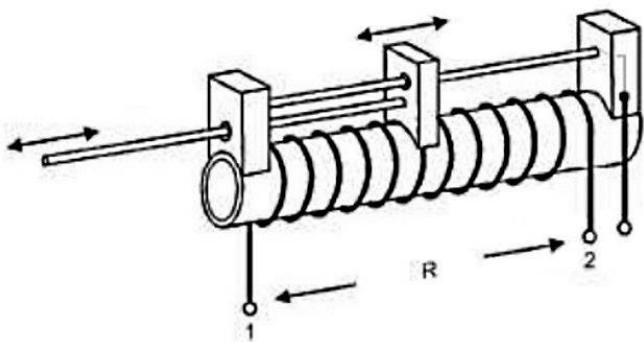
Схема мембранныго датчика потенциометрического типа:

1. Полость атмосферного давления P_0 .
2. Ось вращения ползунка.
3. Пружина растяжения.
4. Ползунок потенциометра.
5. Проволочный резистор.
6. Электрические выводы.
7. Мембрана.
8. Полость с измеряемым давлением P_H .
9. Пружина сжатия.
10. Шток

Чтобы снизить погрешность дискретного изменения сопротивления потенциометра, количество витков на нем делают не менее 100. Ее можно полностью устранить, если перемещать щетку вдоль оси калиброванной проволоки реохорда.

Конструкции датчиков

Датчик линейного перемещения потенциометрический состоит из диэлектрического каркаса различной формы (пластины, цилиндра, кольца и др.), на который наматывается изолированный провод, присоединенный к зажимам и закрепленный хомутами на концах. По обмотке перемещается металлическая щетка. Для датчиков поворотного типа каркасы делаются кольцевой формы, продольного – прямолинейные. В местах контакта с движком изоляция на проводе отсутствует.



На зажимы подается напряжение питания. Выходной сигнал снимается между одним из концов провода и контактом щетки, хотя есть другие схемы подключений.

Каждый линейный потенциометрический датчик имеет статическую характеристику в виде зависимости величины выходного сигнала от перемещения контакта щетки.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Изучить теоретические сведения.

Задание 2. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия потенциометрического датчика.
2. Почему характеристика потенциометрического датчика в общем случае нелинейная?
3. Для чего служит потенциометр R_{π} ?
4. Достоинства и недостатки потенциометрического датчика.
5. Для чего применяют потенциометрические датчики?

Задание 3. Начертите устройство потенциометрического датчика.

Задание 4. Начертите схему включения потенциометрического датчика.

Опишите принцип ее работы.

Задание 5. Выполните расчет потенциометрического датчика по заданному варианту (данные для расчета взять из таблицы).

Порядок расчета:

Основными этапами расчета по данной методике являются:

1. Определение основных конструктивных параметров каркаса и обмотки.
2. Расчет электрических параметров обмотки.
3. Расчет температурного режима датчика.
4. Выбрать АЦП, по полученным параметрам ПД.
5. Расчет характеристик надёжности работы схемы.
6. Начертить схему.

Основные элементы потенциометрического датчика:

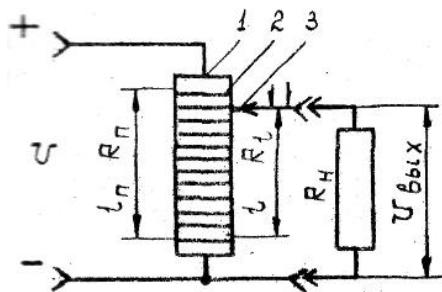


Рис. 1. Потенциометрический датчик

1. Каркас

2. Обмотка

3. Подвижный контакт (движок) и корпус потенциометрического датчика, каркас обмотки

Основные параметры ПД условно можно разделить на конструктивные и схемные, или электрические параметры (рис.1, а, б).

К конструктивным параметрам относятся:

D_0 - средний расчетный диаметр каркаса;

π - угол намотки потенциометра;

h - высота каркаса;

b - ширина или толщина каркаса;

m - суммарная технологическая добавка;

l_n - рабочая длина каркаса;

t - шаг намотки;

n - число витков обмотки;

d - диаметр провода обмотки без изоляции;

$d_{из}$ - диаметр провода с изоляцией.

К схемным, или электрическим параметрам относятся:

U - напряжение питания датчика;

R_n - общее сопротивление обмотки потенциометра;

- удельное сопротивление материала провода;

l_{max} - максимальная относительная погрешность нагруженного датчика.

Последовательность расчёта

1. Вычисляем общую величину угла намотки потенциометра.

$$\alpha_n = 2 \cdot x_{bx max} + \alpha_T = 2 \cdot 8 + 4 = 20, \text{ град}$$

$$\alpha_T$$

где - технологическая добавка к рабочей протяженности каркаса =3...5 мм.

2. Вычисляем длину намотки потенциометра

$$l_n = \frac{\alpha_n \cdot D_0 \cdot \pi}{360} = \frac{20 \cdot 60 \cdot 3,14}{360} = 11, \text{ мм.}$$

3. Определяем число витков датчика

$$n = \frac{\alpha_n}{\Delta Bx_{x \min}} = \frac{20}{0,4} = 50 \text{ витков}$$

4. Вычисляем шаг намотки

$$t = \frac{l_n}{n} = \frac{11}{50} = 0,22 \text{ мм} = 0,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

5. Определяем диаметр провода в изоляции и без нее:

$$d_{из} = t - (0,012 \dots 0,015) = 0,22 - 0,013 = 0,207 \text{ мм} = 0,207 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d = t - 0,03 = 0,22 - 0,03 = 0,19 \text{ мм} = 0,19 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

6. Выбираем высоту h , толщину v и материал каркаса

$$h = (0,3 \dots 0,6) \cdot l_n = 0,6 \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$v = \frac{h}{8} = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{8} = 0,825 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

7. Определяем среднюю длину l_{cp} одного витка обмотки

$$l_{cp} = 2 \cdot (h + v) + \pi \cdot d_{из} = 2(6,6 + 0,825) + 3,14 \cdot 0,207 = 15,5 \text{ мм}$$

8. Вычисляем длину провода обмотки $l_{обм}$

$$l_{обм} = l_{cp} \cdot n = 15,5 \cdot 50 = 775,015 \text{ мм}$$

9. Определяем минимально допустимое напряжение питания

$$K_d = \frac{U}{\alpha_n};$$

$$U = K_d \cdot \alpha_n = 1 \cdot 20 = 20 \text{ В}$$

10. Вычисляем допустимую величину тока I_n , протекающего по обмотке датчика

$$I_n = j \cdot S_{пр} = j \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,19^2}{4} = 0,567 \text{ А}$$

где j - допустимая плотность тока, $j=15 \dots 20 \text{ А/мм}^2$ для ПД с керамическим каркасом;

$S_{пр}$ - площадь поперечного сечения провода обмотки.

11. Определяем необходимое сопротивление обмотки ПД

$$R_n = \frac{U}{I_n} = \frac{20}{0,567} = 35,27 \text{ Ом}$$

12. Вычисляем необходимое удельное сопротивление обмотки

$$\rho = \frac{R_n \cdot \pi \cdot S}{l_{cp} \cdot n} = \frac{35,27 \cdot 3,14 \cdot 0,0284}{15,5 \cdot 10^{-3} \cdot 50} = 0,405 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

13. Выбираем материал провода для обмотки.

Близким удельным сопротивлением к полученному обладает материал никелин с $=0,43\dots0,52 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ (этот материал обладает малой зависимостью удельного сопротивления от температуры).

Итак, мы выбираем константановый провод марки ПЭК с удельным электрическим сопротивлением $=0,44 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Диаметр провода уточняем по сортаменту:

с изоляцией;

$$d_{из} = 0,56\text{мм} = 0,56 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad d = 0,52\text{мм} = 0,52 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

без изоляции .

14. Определяем действительные значения R_n и j

$$R_n = \frac{4 \cdot l_{cp} \cdot n \cdot \rho}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 15,5 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 0,405}{3,14 \cdot 0,19^2 \cdot 10^{-3}} = 11080 \text{ Ом}$$

15. Вычисляем абсолютное значение U

$$\Delta U = \frac{\delta_l \cdot U}{100} = \frac{0,1 \cdot 20}{100} = 0,02 \text{ В}$$

16. Определяем потребный нагрузочный коэффициент, B ,

$$U_{вых.н.} = U \frac{r^*}{1 + \alpha \cdot (r^* - r^{*2})}$$

следовательно при $=0,5$ имеем:

$$\alpha = \frac{0,5U - U_{вых.н.}}{0,125 \cdot U} = \frac{0,5 \cdot 20 - 9,8}{0,125 \cdot 20} = 8 \cdot 10^{-2}.$$

17. Вычисляем минимально допустимую величину сопротивления нагрузки, которое может быть подсоединенено к ПД, чтобы $l = 0,1 \%$

$$\alpha = \frac{R_n}{R_H} R_H = \frac{R_n}{\alpha} = \frac{11080}{8 \cdot 10^{-2}} = 138500 \text{ Ом} \approx 139 \text{ кОм}$$

18. Определяем поверхность обмотки

$$S_{обм} = 2 \cdot l_n (h + b + \pi \cdot d_{из}) = 2 \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot (6,6 + 0,825 + 3,14 \cdot 0,56) \cdot 10^{-3} = 202,0544 \text{ мм}^2 = \\ = 202,0544 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 2,020544 \text{ см}^2$$

19. Вычисляем действительное значение перегрева обмотки в установившемся режиме.

При расчете температурного режима датчика обычно пользуются методикой, основанной на ориентировочном определении величины перегрева датчика в установившемся режиме. В основу этого расчёта положена следующая приближенная формула:

$$\frac{U^2}{R_n} = m \cdot c \cdot S_{обм} \cdot \Theta_y$$

где m - коэффициент, учитывающий теплопроводимость каркаса и изоляции обмотки (равный 0,5-0,7 для пластмассовых, 1,5 для керамических и 2-3 для алюминиевых каркасов);

c - коэффициент теплоотдачи обмотки;

$S_{обм}$ - поверхность обмотки, соприкасающаяся со средой;

y - установившийся перегрев обмотки (превышение температуры датчика над температурой окружающей среды).

$$\Theta_{уст} = \frac{U^2}{R_n \cdot m \cdot c \cdot S_{обм}} = \frac{20^2}{11080 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 2,0205} = 19,85^\circ.$$

Для керамического каркаса $c = \text{Вт}/\text{град} \cdot \text{см}^2$

Из условия хорошего контакта движка о обмоткой и отсутствия коробления каркаса допускается превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды не более $t_{доп} = 40 \dots 50^\circ$,

где $t_{доп} = t_{об} - t_{ср}$;

$t_{ср}$ температура окружающей среды;

$t_{об}$ - температура обмотки.

Так как при расчете получено, что $t_{уст} < t_{доп}$, никаких поправок в расчет вносить не требуется.

Следует иметь в виду, что температура контактирующих поверхностей не должна превышать 120-150°C. Это позволит исключить интенсивное окисление материалов обмотки и движка.

Исходные данные для расчета потенциометрического датчика

№ варианта	x_{\max}		Кд		$\Delta x \min$		$\delta_{l\max}$ %	$\Delta t,$ $^{\circ}C$	$R_0,$ мм	Материал каркаса
		$\alpha, \text{град}$	$L,$ мм	В/град	В/мм	Угл. мин				
1	8		1		4		1	-50...+50	30	Керам.
2		10		0,5		0,5	0,8	-40...+60		Алюм.
3	12		1,5		6		0,75	-5...+70	25	Пластм.
4		20		0,7		0,6	1,2	-15+70		Керам.
5	15		0,9		8		1,5	-30...+60	35	Алюм.
6		14		0,9		0,4	0,9	-50...+50		Пластм.
7	13		1,2		5		1,1	-40...+60	40	Керам.
8		18		1,1		0,08	1,3	-5...+70		Алюм.
9	10		0,8		7		1,4	-15+70	20	Пластм.
10		16		1,3		0,09	0,85	-30...+60		Керам.
11	9		1,3		9		1	-50...+50	28	Алюм.
12		13		1,5		0,7	0,8	-40...+60		Пластм.
13	17		1,6		4		0,75	-5...+70	36	Керам.
14		15		0,6		0,07	1,2	-15+70		Алюм.
15	20		1,9		5		1,5	-30...+60	24	Пластм.
16		17		0,8		0,8	0,9	-50...+50		Керам.
17	18		2,0		6		1,1	-40...+60	32	Алюм.
18		19		1		0,9	1,3	-5...+70		Пластм.
19	13		0,7		7		1,4	-15+70	35	Керам.
20		9		1,2		0,75	0,85	-30...+60		Алюм.
21		18		1,1		0,08	1,3	-5...+70		Алюм.
22	10		0,8		7		1,4	-15+70	20	Пластм.
23		16		1,3		0,09	0,85	-30...+60		Керам.
24	9		1,3		9		1	-50...+50	28	Алюм.
25		13		1,5		0,7	0,8	-40...+60		Пластм.

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 4

Практическая работа

Наименование работы: Применение тензометрических и пьезоэлектрических датчиков.

Цель: Изучить устройство, назначение и применение тензометрических и пьезоэлектрических датчиков.

Время выполнения: 2 часа

Теоретические сведения.

Тензометрические датчики



На многих предприятиях существует необходимость для измерения различных параметров, изменения состояния деталей, различных конструкций. Для решения этих задач используются тензометрические датчики. Они преобразовывают величину деформации в электрический сигнал. Это получается за счет уменьшения или увеличения сопротивления датчика во время деформации, нарушения геометрии формы датчика от сжатия или растяжения. В результате определяется значение деформации. Резистивный преобразователь, является главной составной частью высокоточных устройств и приборов. Изготавливают датчик из чувствительного тензорезистора, представляющего собой тонкую алюминиевую проволоку или фольгу. Резистор в результате деформации изменяет свое сопротивление, подает сигнал на индикатор.

Виды

В разных отраслях промышленности используется множество видов тензометрических датчиков.

1. Приборы, измеряющие силу и нагрузку.
2. Контроль давления.
3. Измерители ускорения.

4. Измерители перемещения.
5. Датчики контроля момента для станков, моторов автомобилей.

Модели датчиков разнообразны, но чаще всего используется датчик определения веса, который изготавливается в различных вариантах: шайбовый, бочковой, S-образный. Исходя из назначения, подбирается необходимое исполнение. Тензометрические датчики имеют классификацию, как по форме, так и по особенностям конструкции, которая зависит от вида чувствительного элемента. Применяются следующие виды датчиков:

1. Из фольги.
2. Пленочные.
3. Из проволоки.

Датчик из фольги;

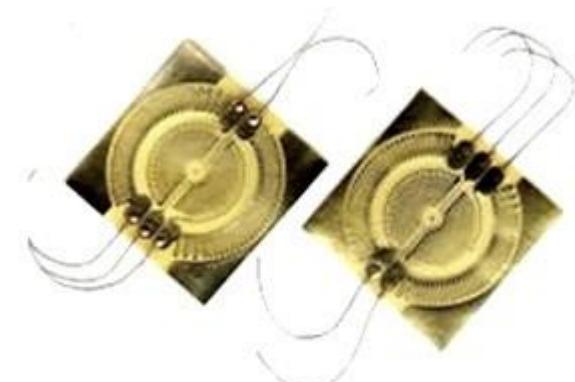
Применяется в виде наклеивания на поверхность. Конструкция датчика состоит из фольговой ленты 12 мкм. Частично пленка плотная, остальная часть решетчатая. Эта конструкция отличительна тем, что к ней можно припаять вспомогательные контакты. Такие датчики легко используются при низких температурах.

Пленочные датчики;



изготовлены по аналогии с фольговыми, кроме материала. Такие виды производятся из тензочувствительных пленок, имеющих специальное напыление, повышающее чувствительность датчика. Эти измерители удобно применять для контроля динамической нагрузки. Пленки изготавливаются из германия, висмута, титана.

Проволочный вариант;



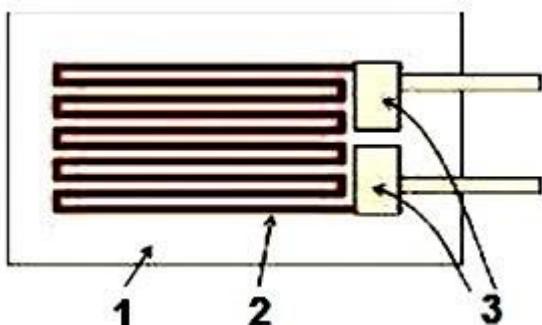
датчика может измерить точную нагрузку от сотых частей грамма до тонн. Они называются одноточечные, так как измерение происходит не на площади, а в одной точке, в отличие от датчиков из фольги и пленки. Проволочными датчиками можно контролировать растяжение и сжатие.

Принцип действия тензодатчиков

Тензометрические датчики представляет собой конструкцию из тензорезистора, имеющего контакт на панели. Она соприкасается с телом для измерения. Принципиальная схема действия датчика заключается в действии на чувствительный элемент исследуемой детали. Для подключения датчика к питанию используются электроотводы, соединенные с чувствительной пластиной. В контактах существует постоянное напряжение. На тензодатчик кладется деталь через подложку. Вес детали разрывает цепь путем деформации. Деформация видоизменяется в сигнал тока. Мост измерения тензодатчика дает возможность измерить минимальные нагрузки, расширяя этим применяемость прибора. Схема подключения мостом датчика основывается на законе Ома. Если сопротивления равны, то проходящий ток будет одинаковым. Действие снаружи обрело название «внешний фактор», изменение сигнала – «внутренний фактор». Тогда можно сказать, что принцип работы датчика заключается в определении внешнего фактора с помощью внутреннего. В быту тензометрические датчики работают в весах. Тензорезисторы подключены с поверхностью работы весов. Подключение к питанию весов осуществляется через батареи. Этот контрольный прибор имеет высокую точность. Погрешность чувствительных элементов составляет менее 0,02%, это высокий показатель. Существуют приборы с чувствительностью гораздо выше этого. Их работа основана на контроле действия силы. Значение силы давления прямопропорционально преобразованному сигналу тензодатчика.

Резистивный тензодатчик

Это широко применяемый вид датчиков, так как интервал усилий работы составляет от 5 Н до 5 МН, используются для разных нагрузок. Преимуществом его стала линейность сигнала выхода. Рабочий элемент – тензорезистор, состоящий из проволоки на гибкой подложке.



1 — Подложка

2 — Чувствительный элемент

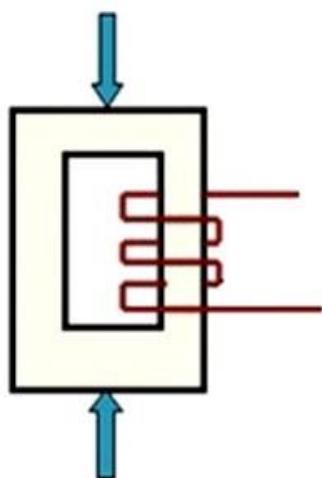
3 — Контакты

Датчик приклеивают к измеряемому предмету. Под действием деформации изменяется сопротивление резистора, а соответственно подающего сигнала.

Магнитные тензометрические датчики

Магнитострикция является основным явлением для работы датчиков этого типа. Такой эффект меняет геометрию размеров в магнитном поле. Изменение геометрии изменяет магнитные свойства, что называется магнитоупругого эффекта. При снятии усилия свойства тела возвращаются.

Это определяется изменением расположения атомов в решетке кристаллов в магнитном поле или под действием силы. В нашем варианте катушка индуктивности расположена на ферромагнитном сердечнике. От силы сердечник деформируется, получая состояние напряженности.



Изменение сердечника дает изменение его проницаемости, а, следовательно, изменяется магнитное сопротивление и индуктивность катушки. Широко применяемыми стали датчики с двумя катушками. Первичная – запитана генератором, во второй образуется ЭДС. Во время деформации магнитная проницаемость меняется. В результате меняется ЭДС 2-й обмотки.

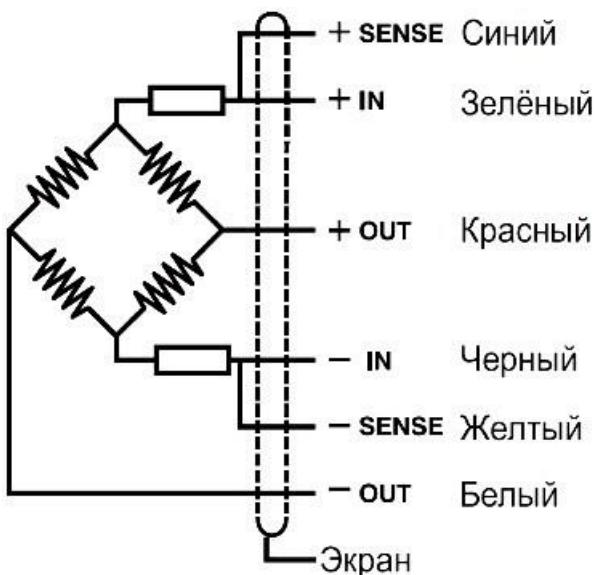
Преимущества тензометрических датчиков:

1. Повышенная точность измерения.
2. Сочетаются с измерениями напряжений, не имеют искажений данных измерения. Это удобство незаменимо при применении датчиков на транспорте или в критических ситуациях и условиях.
3. Малые размеры дают возможность применять их в любых измерениях.

К недостаткам тензометрических датчиков, можно отнести снижение чувствительности при резких изменениях температуры. Для получения точных результатов рекомендуется делать контроль измерения при комнатной температуре.

Подключение тензодатчиков

Подключить датчики можно легко самому, используя схему. Перед приобретением тензодатчиков определите длину кабеля подключения. Если короткий кабель наращивать в длину, то точность измерения индикатором будет значительно меньше. Оптимизацию этого параметра можно произвести контроллером SE 01, который действует вместо усилителя.



Если в конструкции весов применяются разные индикаторы, то их соединяют по параллельной схеме с помощью специальных коробок. Проводники датчиков обязательно заземляются, независимо от вида питания. Установка заземления производится в общей одной точке. Для этих целей применяется коробка для разветвления.

Тензодатчик применяют при оценке деформаций, возникающих в объекте под действием внешних сил. Наибольшее распространение получили тензодатчики сопротивления - *тензорезисторы*. В основе их действия лежит изменение электрического сопротивления при деформации. Электрическое сопротивление датчика R определяется по формуле:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

где R – электрическое сопротивление датчика, ρ – удельное сопротивление, L – длина проводника, S – поперечное сечение проводника.

Например, при деформации растяжения проводника его длина L увеличивается, происходит также некоторое уменьшение поперечного сечения S. В этом случае изменение сопротивления ΔR будет определяться уравнением

$$\Delta R = K \cdot \rho \frac{\Delta L}{\Delta S}$$

где K – коэффициент тензочувствительности (определяет чувствительность проводника к деформации), ΔL – изменение длины проводника (абсолютная деформация).

Если пренебречь изменением поперечного сечения проводника (обычно оно незначительно), то относительное изменение сопротивления проводника равно:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K\varepsilon$$

где ε – относительная деформация.

Явление упругой деформации описывается законом Гука:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L} \text{ или } \sigma = E\varepsilon$$

где E – параметр, характеризующий способность тела к деформации растяжения или сжатия (модуль Юнга); F – величина внешней силы, действующей на тело; S – площадь поперечного сечения тела, перпендикулярная направлению действия силы; σ – механическое напряжение.

С учетом уравнений (3) и (4) коэффициент тензочувствительности будет определяться по формуле

$$K = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{E}{\sigma}$$

Таким образом, входной величиной является деформация проводника, а выходной – изменение сопротивления датчика. Основной характеристикой датчика является коэффициент относительной тензочувствительности K.

Значение коэффициента тензочувствительности зависит от материала:

- для никелевой проволоки K=12,1;
- для платины K=6,1;
- для полупроводников K>100.

Различают тензорезисторы проводниковые (проводочные, фольговые) и полупроводниковые. Проводочный тензорезистор представляет собой тонкую проволоку (диаметром до 20 - 30 мкм), зигзагообразно наклеенную на тонкую пленку, к концам которой присоединяются выводные проводники (рис. 1). Сверху датчик покрыт тонким изолирующим слоем лака. Рабочая часть фольгового резистора представляет тонкую ленту фольги, на которой путем травления создают рисунок расположения проводников требуемой конфигурации.

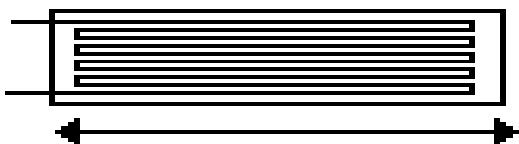


Рис. 1. Проволочный тензорезистор (стрелками показано направление деформаций, воспринимаемых датчиком).

Полупроводниковые тензорезисторы обычно изготавливают из кремниевых и германиевых пластинок, обладающих высокой тензочувствительностью. Тензорезистор жестко фиксируют на исследуемом объекте (приклеивают, приваривают). При деформации объекта происходит и деформация датчика, изменяющая его электрическое сопротивление. Тензорезисторы относятся к параметрическим датчикам. Тензодатчик используется в медицине при регистрации пневмограммы, характеризующей изменение периметра грудной клетки, частоту дыхания, в измерениях силы, давления, вибраций в элементах опорно-двигательного аппарата, для прямого измерения внутрисосудистого давления, давления в полостях сердца и т.д. В стоматологии применяют тензодатчик для определения напряжений, возникающих при нагрузке в различных частях челюстно-лицевого отдела, при разработке зубных протезов.

Термоэлектрические датчики могут быть:

- параметрическими (проводниковые и полупроводниковые термосопротивления),
- генераторными (термоэлементы).

Термометры сопротивления (терморезисторы, термисторы) – датчики, в основе действия которых лежит изменение электрического сопротивления при изменении температуры. При этом у металлов сопротивление с ростом температуры увеличивается, а у полупроводников уменьшается.

В проводниковых термосопротивлениях металлическая проволока наматывается на основу – изолятор (фарфор, кварц, слюда) и покрывается защитной оболочкой. В качестве проводников используют (в зависимости от диапазона температур, в котором проводятся измерения) платину, медь, никель, железо. Например, платиновый термометр позволяет измерять температуру в интервале от 200 до 1100°C.

Большой чувствительностью, малой температурной инерционностью, относительно меньшими размерами обладают полупроводниковые термосопротивления – термисторы.

Конструкционно термистор представляет собой небольшой (порядка долей миллиметра) полупроводниковый шарик, в который введены два электрода из тонкой проволоки, подключаемые к измерительному прибору. Весь термистор заключен в тонкий пластмассовый корпус (рис. 2).

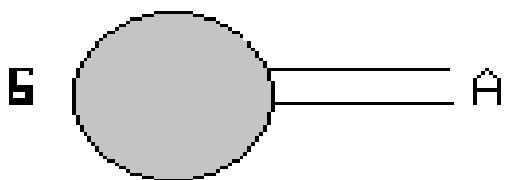


Рис. 2. Схема термисторного датчика (А контактные металлические проводники, Б полупроводник).

Действие термистора основано на зависимости электропроводности полупроводника от температуры: при увеличении температуры полупроводника его сопротивление уменьшается (увеличивается число свободных носителей зарядов). Входной величиной такого датчика является изменение температуры ΔT , а выходной – изменение сопротивления датчика ΔR . Коэффициент чувствительности термистора определяется уравнением:

$$K = \Delta R / \Delta T$$

Для измерения электрического сопротивления часто используют мост Уитстона (рис. 3), содержащий эталонные сопротивления R_1 и R_2 , калибровочное переменное сопротивление R_3 (магазин сопротивлений) и гальванометр G . Подключив датчик R_d и источник питания E , с помощью R_3 устанавливают гальванометр на "0". В результате выполняется условие:

$$\frac{U(R_1)}{U(R_2)} = \frac{U(R_d)}{U(R_3)}$$

где $U(R_1)$ - падение напряжения на R_1 ;

$U(R_2)$ - падение напряжения на R_2 ;

$U(R_3)$ - падение напряжения на R_3 ;

$U(R_d)$ - падение напряжения на R_d .

С учетом закона Ома для участка цепи справедливо уравнение:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_d}{R_3}, \text{ откуда } R_d = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия тензометрического датчика.
2. Для чего служит тензометрический датчик?

3. Достоинства и недостатки тензометрического датчика.

4. Для чего применяют тензометрический датчик?

3. Начертите устройство тензометрического датчика.

4. Начертите схему включения тензометрического датчика. Опишите принцип ее работы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задание 1. Определить коэффициент чувствительности тензодатчика.

1. Ознакомьтесь с собранной схемой моста Уитстона, одним плечом которого является тензобалка (Б) с приклеенным к ней тензодатчиком Т, а другим - магазин сопротивлений.

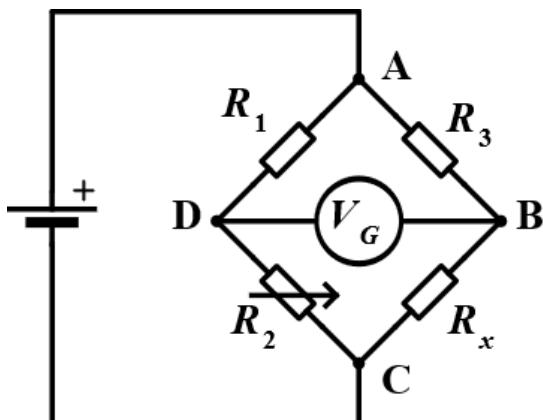


Схема экспериментальной установки с тензодатчиком (Т - тензодатчик, Б - тензобалка).

2. Измерьте ширину b , толщину тензобалки, расстояние L от места крепления тензобалки до тензодатчика Т (рис.5). Результаты занесите в таблицу 1.

3. При помощи магазина сопротивлений уравновесьте мост Уитстона и определите сопротивление R_0 недеформированного датчика.

4. Нагрузите тензобалку весом P (по указанию преподавателя). При помощи магазина сопротивлений уравновесьте мост Уитстона и определите сопротивление $R_{\text{деф}}$ деформированного датчика. Измерения повторите для нескольких значений P , данные занесите в таблицу 1.

5. Вычислите коэффициент тензочувствительности по формуле:

$$K = \frac{\Delta R}{R_0} \cdot \frac{bh^2}{6P} \cdot \frac{E}{L},$$

где K - коэффициент тензочувствительности;

R_0 - сопротивление датчика без нагрузки;

ΔR - изменение сопротивления датчика при его деформации;

b- ширина тензобалки;

h- толщина тензобалки;

L - расстояние от места крепления тензобалки до датчика;

P - вес груза, деформирующего тензобалку;

E - модуль Юнга ($1 \cdot 10^{11} \text{Н/м}^2$).

Таблица 1

№	b, м	h, м	L, м	P, Н	R ₀ , Ом	R _{деф.} , Ом	ΔR, Ом	K	K _{ср} ±σ
1									
2									
3									
4									

6. Постройте график зависимости изменения сопротивления тензорезистора от нагрузки: $\Delta R=f(P)$.

7. Сделайте вывод по результатам работы.

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 5

Практическая работа

Наименование работы: Применение термоэлектрических датчиков и датчиков Холла.

Цель: Изучить устройство, назначение, расчет и применение термоэлектрических датчиков и датчиков Холла.

Время выполнения: 2 часа

Теоретические сведения.

Датчики Холла

Известным видом вольтаических сенсоров являются датчики Холла. Их действие основано на том, что на носителях электрического заряда, движущиеся в магнитном поле, действует сила Лоренца. Поэтому, если через пластину проводника или полупроводника пропускать электрический ток, то при наличии внешнего магнитного поля носители электрического заряда под действием силы Лоренца будут отклоняться в направлении, перпендикулярном вектору индукции магнитного поля и направлению тока. Вследствие этого возникает поперечная разность потенциалов, пропорциональная силе тока и величине индукции магнитного поля.

На рисунке показана конструкция полупроводникового датчика Холла: снизу – его вид в плане, сверху – в разрезе. В кристалле кремния p -типа формируют область n -типа, а над изолирующим слоем окисла – металлические проводники. Одну пару проводников используют для пропускания через p -область электрического тока, другую – для измерения ЭДС Холла U_X . Эта ЭДС возникает всегда, когда на датчик действует внешнее магнитное поле. Как правило, в том же полупроводниковом кристалле формируют и все необходимые электронные схемы усиления и температурной компенсации.

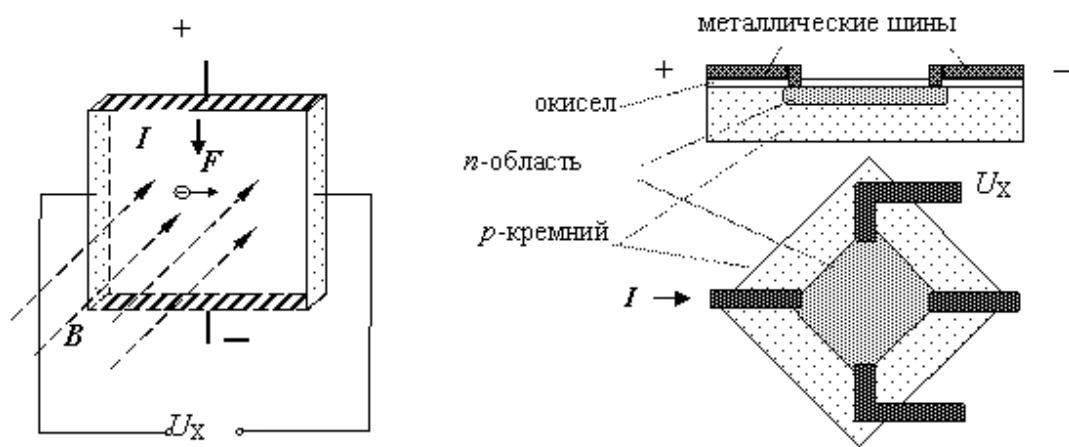
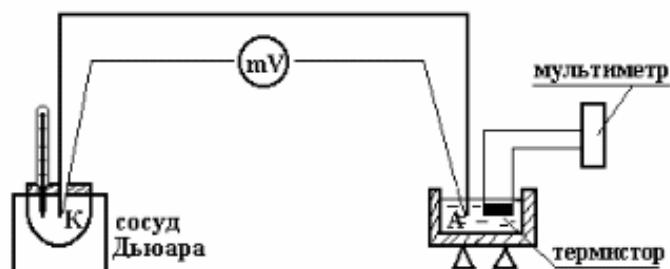


Рис. Принцип действия (слева) и структура (справа) полупроводникового датчика Холла.

Изучение датчиков температуры



В данной работе в качестве датчика температуры используется термопара, изготовленная из меди и константана. Термопара проградуирована. Градуировочный график прилагается. Определение температурной зависимости сопротивления полупроводника проводится для термистора - одного из самых простых полупроводниковых приборов.

В полупроводниках электрическое сопротивление в значительной степени зависит от температуры. Зависимость сопротивления полупроводника от температуры в определенных температурных интервалах может быть описана выражением $R=R_0 \cdot \exp(-\Delta W/2kT)$,

где T - абсолютная температура, k - постоянная Больцмана, ΔW - энергия активации полупроводника (термистора), \exp - то же самое, что e - основание натурального логарифма.

Таким образом, сопротивление полупроводника уменьшается по экспоненциальному закону. Зависимость сопротивления полупроводника (термистора) от температуры используется для измерения температуры по силе тока в цепи с полупроводником.

Существуют термисторы для измерения как очень высоких ($T \approx 1300^{\circ}\text{K}$), так и очень низких ($T \approx 4-80^{\circ}\text{K}$) температур.

В медицине широко применяются электротермометры, датчиком температуры в которых является термистор. К достоинствам электротермометров следует отнести их малую инерционность, высокую чувствительность, возможность изготовления малогабаритных датчиков, возможность измерения температур на расстоянии. К недостаткам относятся нелинейная шкала и старение. Термопары обладают меньшей чувствительностью, однако лишены указанных недостатков.

Для определения температурной зависимости сопротивления термистора последний вместе с активным термоспаем А термопары фиксируют в дюралевом бруске. Для чего в бруске проделывается отверстие, заполняемое непроводящей жидкостью (масло, глицерин и т.д.). Термо-ЭДС термопары измеряют милливольтметром. Сопротивление исследуемого термистора определяют мультиметром. Контрольный термоспай К термопары опускают в сосуд Дьюара.

Порядок выполнения работы.

1. Термопару подключить к клеммам милливольтметра.
2. Включить милливольтметр в сеть.
3. С помощью переключателя, расположенного на правой боковой панели, установить нуль милливольтметра в режиме «карретир».
4. Перевести переключатель пределов измерений в положение «5 mV». Рассчитать цену деления милливольтметра.
5. Опустить контрольный и рабочий спай термопары в стакан с водой и установить нуль шкалы милливольтметра.
6. Записать в тетрадь температуру контрольного спая t_k^0 .
7. Измерить температуру ладони в нескольких точках. Для этого приложить активный термоспай к ладони и определить соответствующую ТЭДС по милливольтметру. Используя градуировочный график и соотношение $t_d^0 = t_k^0 + \Delta t^0$, определить температуру ладони.
8. Аналогично измерить температуру шеи, мочки уха, щеки, подбородка и т.д.

Практическая часть

1. Снять зависимость термо-ЭДС термопары от температуры:
2. Снять зависимость сопротивления терморезистора от температуры.

Приборы и оборудование: термометр, термопара, терморезистор, источник тока, усилитель, мультиметр, эл. плитка, химический стакан, штатив, снег или лед.

Описание лабораторной установки.

Основными частями лабораторной установки являются термопара, напряжение с которой снимается через усилитель мультиметром (в режиме вольтметра) и полупроводниковый терморезистор, сопротивление которого измеряется мультиметром (в режиме омметра). Контроль за процессом нагревания производится ртутным термометром.

1. Собрать установку для проведения эксперимента по рис.
2. Положить в химический стакан снег или лед и, добавляя воду, установить температуру 0 градусов.
3. Включить электроплитку. Измерения напряжения в цепи термопары и сопротивления резистора проводить для температуры воды в стакане от 0 до 50 (или 100) градусов с шагом 5 градусов.
4. Вычислить термо-ЭДС (E)

(K – коэффициент усилителя указан на усилителе).

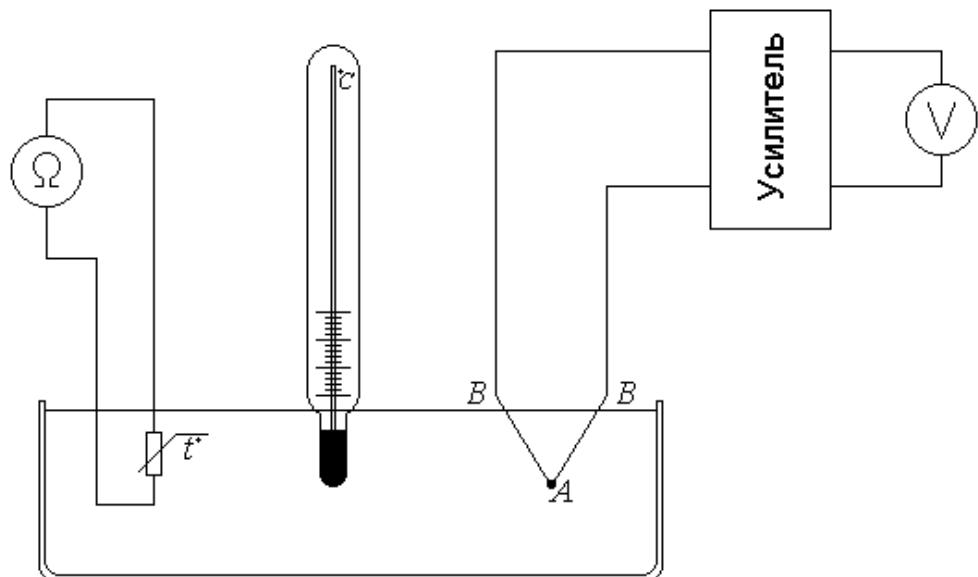


Схема лабораторной установки.

1. Данные измерений и вычислений занести в таблицу 1:

$t, \text{с}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$U, \text{В}$											
$E, \text{В}$											
$R, \text{кОм}$											

1. Построить графическую зависимость термо-ЭДС от температуры.
2. Построить графическую зависимость сопротивления терморезистора от температуры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие устройства называются датчиками.
2. Что называют характеристикой датчика, чувствительностью, порогом чувствительности, номинальной погрешностью датчика?
3. Объяснить устройство и принцип действия тензодатчиков, их применение в сельском хозяйстве.
4. Объяснить устройство и принцип действия датчиков температуры (термопары и термистора).
5. Природа электропроводности полупроводников. Объяснить зависимость сопротивления полупроводников от температуры.
6. Объяснить принцип работы термопары.

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 6

Практическая работа

Наименование работы: Изучение электромагнитных реле автоматики и реле времени.

Цель: Изучение устройства, назначения и применения электромагнитных реле автоматики и реле времени.

Время выполнения: 2 часа

Теоретические сведения.

Электромагнитные реле относятся к одному из наиболее распространённых элементов автоматики и телемеханики и применяются в качестве элементов управления и защиты, промежуточных преобразователей, усилителей, размножителей сигналов и логических элементов, исполнительных механизмов, в электрических установках. По своей конструкции и принципу действия они чрезвычайно разнообразны. Электромагнитные реле делятся на нейтральные и поляризованные. Нейтральные реле в свою очередь делятся на реле постоянного тока и реле переменного тока. Нейтральным электромагнитным реле называется такое, у которого при отсутствии тока в обмотке электромагнита магнитный поток в магнитной системе также отсутствует (т.е. реле не имеет предварительного намагничивания).

Реле постоянного тока состоит из электромагнита, по катушке которого пропускается постоянный ток, подвижного якоря с возвратной пружиной, создающей противодействующее усилие и контактов, которые разделяются на замыкающие, размыкающие и переключающие.

При протекании тока по катушке реле якорь, намагничиваясь, притягивается к сердечнику и оказывает механическое воздействие на контактную группу, замыкая или размыкая контакты в исполнительной цепи. При выключении тока якорь и контакты под действием пружины возвращается в исходное положение, что соответствует отключённому состоянию реле. Тяговое усилие якоря F_y , создаваемое магнитным потоком катушки, пропорционально квадрату ампер-витков не меняет своего направления при изменении направления тока в ней.

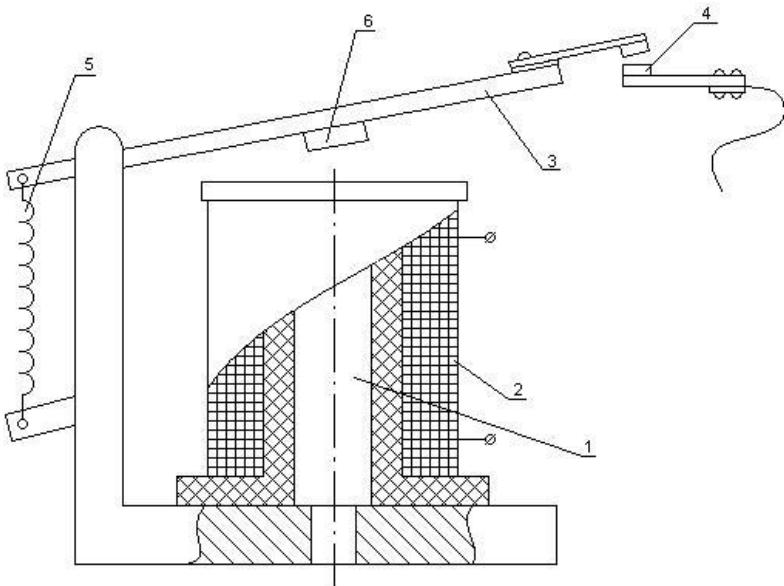


Рис.1. Устройство электромагнитного реле постоянного тока.

Реле переменного тока.

Если к электромагнитному реле, изображённому на рис.1, подвести переменный ток, якорь будет дребезжать, а контакты, находящиеся под нагрузкой – искрить. Это явление объясняется тем, что при работе тяговое усилие якоря F_y с усилием возвратной пружины F_{pr} (при $F_y > F_{pr}$ реле включено, при $F_y < F_{pr}$ реле выключено) и в течение одного периода изменения тока тяговое усилие дважды принимает нулевое значение.

Для устранения дребезжания (вибрации) якоря в конструкцию магнитопровода электромагнитного реле переменного тока добавляют короткозамкнутый виток 1, как показано на рис.2. Часть основного магнитного потока Φ , проходя через сечение магниторовода, охваченное короткозамкнутым витком, наводит в нём ЭДС. Это приводит к появлению тока в короткозамкнутом витке и созданию магнитного потока Φ_3 , сдвинутого по фазе на угол 60° , вследствие чего результирующий магнитный поток и тяговое усилие якоря в момент перехода синусоиды питающего напряжения через нуль будут отличны от нуля. С целью устранения токов Фуко магнитопровод реле переменного тока набирают из сдельных пластин электротехнической стали, якорь выполняется более массивным, чем у реле постоянного тока.

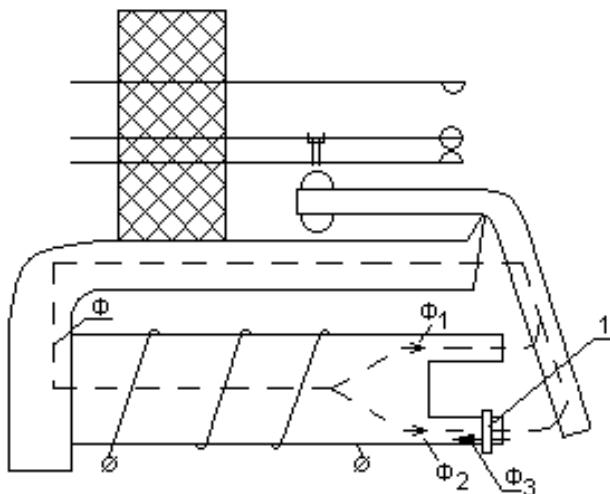


Рисунок 2.

Поляризованное реле.

Поляризованное электромагнитное реле отличается от нейтрального наличием постоянного магнита (рис.3). В нём действуют два независимых друг от друга потока: поляризующий магнитный поток Φ_o , создаваемый постоянным магнитом и рабочий поток Φ_p , создаваемый рабочим током катушек. Магнитный поток Φ_o разветвляется на два потока $\Phi_1=\Phi_2=\Phi/2$.

При принятых на рис.3 направлениях магнитных потоков происходит сложение потоков ($\Phi_p + \Phi_1$), а в правом вычитание ($\Phi_p - \Phi_2$). Вследствие этого якорь притягивается влево и замыкает контакт 7. При изменении тока в катушке изменяется направление магнитного потока Φ_p и якорь, перемещаясь вправо, замыкает контакт 6. Поляризованное реле по сравнению с нейтральным обладает большой чувствительностью, меньшим временем срабатывания, реагирует на величину и полярность исходного сигнала.

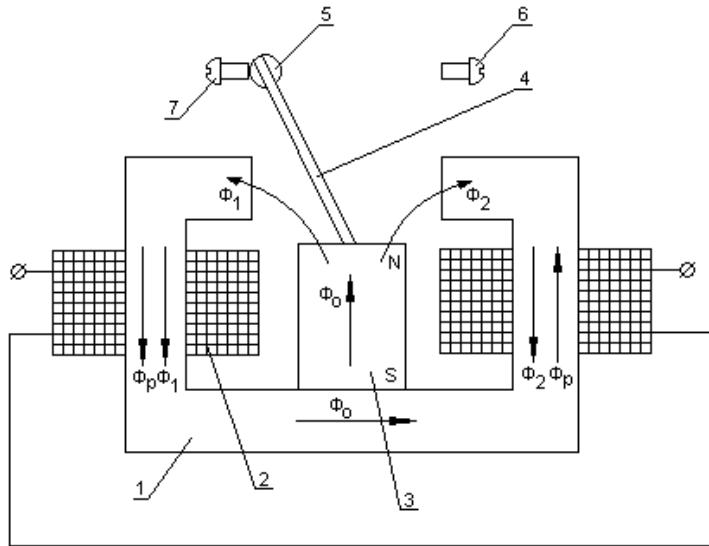


Рисунок 3. Устройство поляризованного реле.

Рассмотренные реле состоят из трёх основных органов: воспринимающего (чувствительного) органа, который воспринимает управляющее воздействие на промежуточный орган; промежуточного органа, который при достижении управляющим воздействием заданной величины передаёт это воздействие исполнительному органу; исполнительного органа, осуществляющего скачкообразное изменение управляемой величины.

Основной характеристикой реле является статистическая характеристика (характеристика управления), выражающая зависимость выходной величины Y от входной X (рис.4). При достижении входной величины X значения $X_{вкл}$ реле скачкообразно изменяет значение параметра Y от *выкл.* до *вкл.* Дальнейшее увеличение X уже не приводит к изменению параметра Y . При уменьшении X до величины $X_{вх1}$ снова скачкообразно изменяется значение параметра Y от *вкл.* до *выкл.* Статистическая характеристика имеет релейный характер, т.е. при плавном изменении входной величины – тока в катушке реле, выходная величина – состояние контактной группы, изменяется скачкообразно.

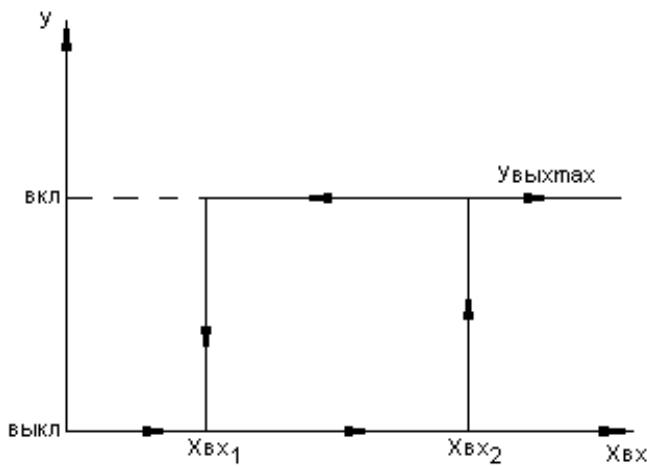


Рисунок 4. Статистическая характеристика реле.

Электромагнитное реле, являясь наиболее распространённым типом реле, может быть использовано как простейший усилитель. Так для срабатывания реле необходимы более меньшие токи, чем токи, протекающие через контакты реле. Например, реле типа МКУ-48 с катушкой на 220 В переменного тока потребляет $I_p = 0,012 \dots 0,020$ А; а ток, пропускаемый контактами, составляет 5 А. Отношение величины тока, подключаемого контактами в исполнительную цепь, к величине тока срабатывания будет выражать коэффициент усилия реле по току.

Основными параметрами электромагнитных реле являются:

1. Ток или напряжение срабатывания $I_{ср}$; $U_{ср}$ – минимальные значения, при которых контакты из исходного состояния переходят в рабочее.
2. Ток или напряжение отпускания $I_{отп}$; $U_{отп}$ – величины, при которых контакты реле переходят из рабочего состояния в исходное.
3. Рабочий ток и напряжение I_p ; U_p – величины, обеспечивающие надёжное включение реле.
4. Коэффициент возврата $K_v = I_{отп}/I_{ср} = 0,2 \dots 0,95$;

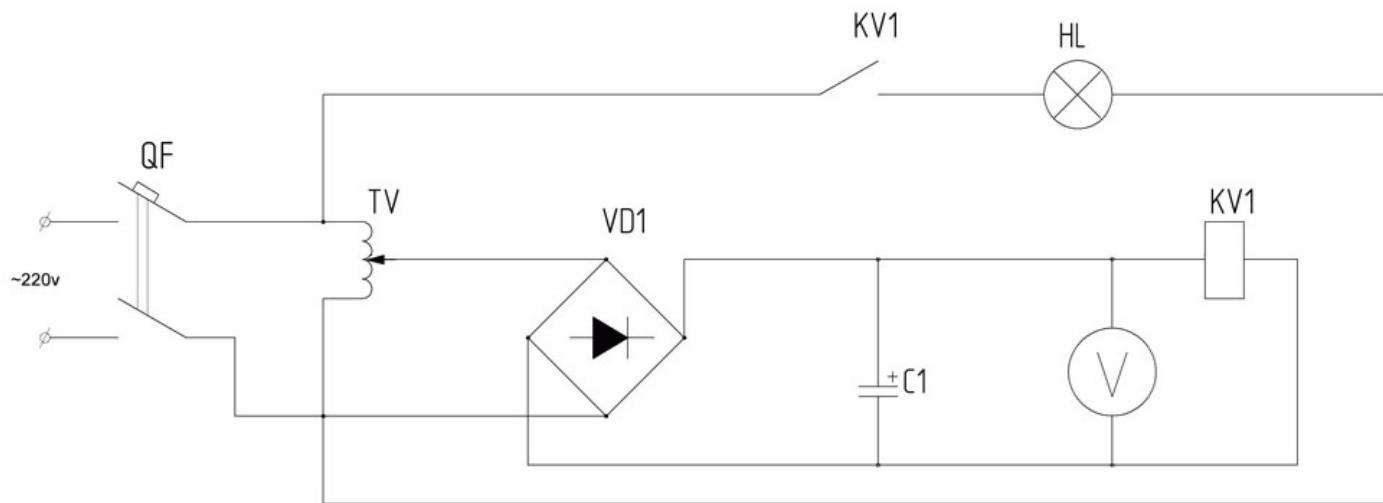
Практическая часть

1. Запишите технические данные представленных реле в таблицу 1:
 (РТ-40, РТ-80, РН-50, РН-54, РТМ, РТВ, РТИ-80)

Таблица 1.

Тип реле	$I_{отп}$	$I_{ср}$	K_b

2. Начертите схему электромагнитного реле постоянного тока.
3. Начертите схему электромагнитного реле переменного тока.
4. Начертите статические характеристики реле постоянного и переменного тока.
5. Изучите и начертите схему включения реле.



6. Подайте питание на стенд 220 В включив автомат «ввод» при этом должна загореться сигнальная лампа.
7. Плавно вращая ручку реостата ЛАТР довести значение напряжения до срабатывания реле, при срабатывании загорится сигнальная лампа на передней панели. Запишите показания приборов в таблицу 1.
8. Плавно уменьшая напряжение на реле выключить его, показания приборов занести в таблицу.

таблица 2. Результаты исследования.

Тип реле	Напряжение срабатывания, В	Ток срабатывания, А	Напряжение отпускания, В

По результатам таблицы 2 построим характеристику:

I_{cp} .



9. Рассчитать коэффициент возврата релейного действия, сделать вывод о типе реле (минимальное или максимальное).

$$K_B = U_{\text{отп.}} / U_{\text{ср.}} \quad (> 1 \text{ или } < 1)$$

Изучение устройства и принцип действия реле времени.

Ход работы:

Реле времени электродвигательные предназначены для создания выдержки времени при передаче электрических сигналов в системах автоматики и телемеханики, когда требуются выдержки времени свыше 10 с и надо обеспечить строго последовательное коммутирование (программирование) нескольких цепей. Реле выполняются на выдержки времени от 10 до 900 секунд с числом управляемых цепей до 16 для работы, как при переменном, так и при постоянном токе.

Реле состоит из следующих основных узлов:

- электродвигателя синхронного трехфазного переменного тока или постоянного тока с насаженным на его вал червяком;
- редуктора, замедление (передаточное число) которого соответствует максимальной выдержке времени, создаваемой реле;
- контактного устройства, в которое входит контактный набор — соответствующее данному исполнению реле число замыкающих, размыкающих или переключающих контактов и соответствующее ему число переключающих кулачков с устройствами их установки и регулирования;
- электромагнитов (электромагнитных реле) с соответствующими устройствами для управления двигателем и муфтами для сцепления и расцепления двигателя с редуктором и редуктора с контактным устройством;
- возвратных пружин.

Рабочий цикл реле при включенном электродвигателе начинается с подачи сигнала на сцепление двигателя с редуктором. Вращение двигателя через редуктор передается на рабочее зубчатое колесо и далее на привод кулачков (через общий вал или другое устройство). Кулачки производят переключение контактов в установленной последовательности и с заданной выдержкой времени: Одновременно взводится возвратная пружина.

После полного оборота рабочего зубчатого колеса (вала с кулачками) соответствующие контакты отключают двигатель или муфту сцепления двигателя с редуктором. Кулачки остаются в достигнутом положении. Затем, после снятия команды на работу реле, рабочее зубчатое колесо расцепляется с редуктором и возвратная пружина возвращает кулачки и контакты в исходное положение. Реле готово к новому циклу работы.

Реле собирается на металлическом основании и закрывается кожухом (в соответствии с исполнением по защите). В кожухе имеются окна для наблюдения шкал выдержек времени.

Износостойкость «реле в зависимости от осуществленной выдержки времени доставляет от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч циклов.

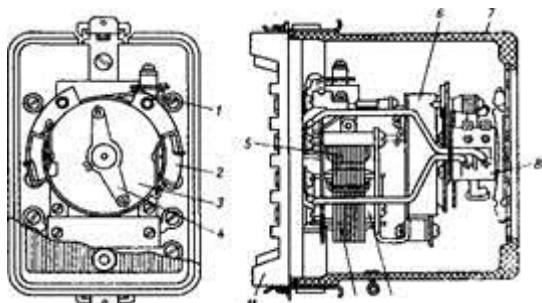


Рисунок 5. Реле времени постоянного тока 3В-100

Недостатками реле являются сложность конструкции и малая износстойкость. Достоинства — большие выдержки времени и высокая точность последовательности переключения контактов, что не достигается другими способами.

Реле времени электромагнитное, создающее выдержку при помощи часового механизма, показано на рис. 5. При замыкании цепи катушки 9 электромагнита 10 втягивается якорь 5, пускается в ход заторможенный часовой механизм 6, начинают перемещаться подвижные контакты 4 и переключаются контакты мгновенного действия 8. По истечении установленных выдержек времени под действием заводной пружины часового механизма сначала замыкается скользящий контакт 2, а затем замыкающий 1.

Время с момента подачи напряжения на катушку до замыкания контактов 2 и 1 регулируется изменением их положения и указывается стрелками на шкале 3.

С прекращением возбуждения катушки якорь и часовой механизм мгновенно возвращаются в исходное положение под действием пружины электромагнита. Одновременно с этим происходит завод часового механизма.

Реле монтируется в пылезащищенном пластмассовом корпусе, состоящем из основания 11 и кожуха 7 из прозрачного материала.

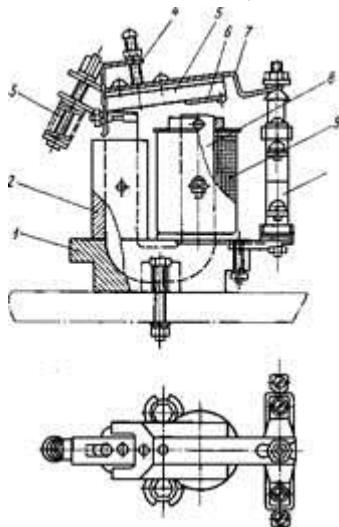


Рисунок 6. Реле времени электромагнитное

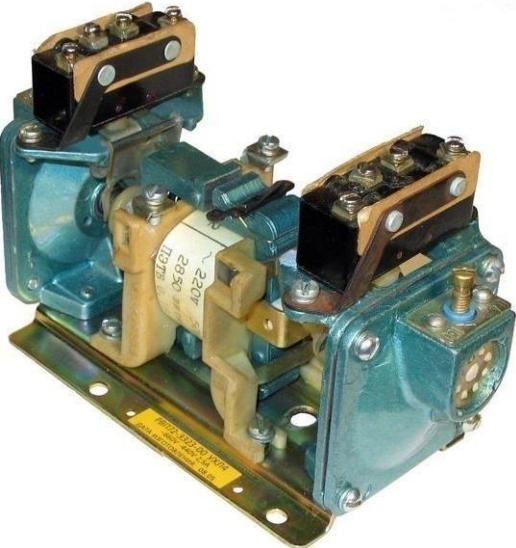
1 - силуминовое основание (заливка), служащее для сборки всего реле и как демпфер; 2- медная гильза-демпфер; 3 - отключающая пружина, регулируемая, 4 – упорная скоба с винтом; 5 - якорь; 6 - немагнитная прокладка; 7-тяга; 8 – U-образный сердечник; 9 - катушка; 10 - узел контактов

Реле времени с электромагнитным замедлением (демпфером) выполняются только на постоянном токе. Замедление спадания потока (главным образом при отключении катушки) создается короткозамкнутым медным кольцом. Подобные реле (рис. 6) отличаются моноблочной конструкцией, полностью собираемой и

регулируемой до установки в комплектное устройство. В ранее выпускавшихся реле неподвижная часть магнитопровода выполнялась из двух деталей - скобы и сердечника. На стыке между деталями всегда оставался паразитный воздушный зазор. В современной конструкции неподвижная часть магнитопровода (сердечник) представляет собой одну деталь, изогнутую в виде буквы II. Паразитный зазор отсутствует. В данном случае при той же МДС в магнитопровода получается больший поток. В итоге у реле тех же габаритов выдержка времени возрастает. Реле отстраиваются на выдержку времени до 10 с.

Применение реле времени:

Пневматические реле времени.



Конструкция содержит электромагнитный привод. На неподвижной части стального магнитопровода расположена катушка. Якорь в обесточенном состоянии реле образует воздушный зазор за счет усилия пружины. Орган реле, обеспечивающий задержку, выполнен в виде съемной приставки. Реле комплектуется одной или двумя приставками. Сама приставка представляет собой воздушную камеру, разделенную на две части эластичной диафрагмой. Верхняя часть камеры является рабочей, она соединена с атмосферой небольшим отверстием, размер которого регулируется винтом. Также имеется обратный клапан, работающий только на выпуск и обеспечивающий взвод диафрагмы. Диафрагма соединена с подпружиненным штоком, который контактирует с якорем электромагнита.

Порядок работы реле следующий. При отключенном питании катушки, якорь под воздействием пружины прижимает шток приставки, обеспечивая взведенное положение диафрагмы, т.е. перемещает ее к верхней стенке камеры, выдавливая из нее воздух. При срабатывании реле, якорь подтягивается к

неподвижному сердечнику, при этом освобождая шток мембранны. Шток, под воздействием возвратной пружины, стремится вернуть диафрагму в нейтральное положение, чему препятствует возникающее разрежение воздуха в камере. Происходит подсос воздуха из атмосферы через калиброванное отверстие.

По заполнению камеры, диафрагма возвращается в нейтральную позицию, воздействуя при этом на микровыключатель посредством рычага на штоке. Таким образом, контакты переключаются с задержкой времени после срабатывания реле. Время задержки регулируется винтом, изменяющим сечение отверстия рабочей камеры.

Моторные реле времени.



Реле состоит из электродвигателя (чаще всего синхронного), редуктора, который передает вращательный момент на главную ось. На оси расположен диск, являющийся частью кулачкового механизма.

При включении реле запускается электродвигатель. Одновременно с этим, вспомогательный электромагнит, перемещая выходную шестерню редуктора, вводит ее в зацепление с шестерней главной оси. Ось с закрепленным на ней диском начинает вращение, которое продолжается, пока специальный выступ на боковой поверхности диска не встретится с неподвижным кулачком. Это вызывает срабатывание контактной группы, связанной с кулачком и возвращает реле в исходное состояние.

В зависимости от типа реле, на оси могут располагаться несколько дисков, каждый из которых, имея свой кулачок, отрабатывает свою независимую выдержку времени. Очевидно, что максимальная выдержка времени определяется одним оборотом диска. Диапазон выдержек времени, доступных данному типу

реле – от 0,2 секунд, до 60 часов. Реле широко используется в случаях, когда требуется большая выдержка времени.

Электронные реле времени.



Первые образцы реле, построенные на электронных компонентах, содержали транзисторы, а времязадающими элементами служили RC – цепи. То есть, время выдержки определялось регулируемым временем заряда конденсатора. Такие схемы встречаются сейчас, только как радиолюбительские.

Развитие цифровых технологий в корне изменило подходы к решению задачи. В качестве времязадающих узлов сегодня используются высокостабильные кварцевые генераторы, колебания которых управляют цифровыми устройствами, формирующими необходимые сигналы через заданные промежутки времени путем подсчета количества импульсов.

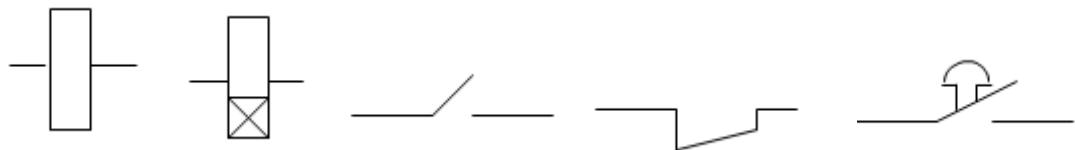
Электронные реле времени, входящие в линейку продуктов ведущих электротехнических компаний построены на основе интегральных микроконтроллеров, способных реализовать практически любой заданный алгоритм работы. В качестве примера приведем технические характеристики изделия одного из ведущих производителей:

- Напряжение питания от 12 до 240 Вольт AC/DC
- Установливаемая выдержка времени от 0,05 секунд до 100 часов
- Погрешность измерения времени не превышает 0,05%
- Уставка оперативно выставляется на передней панели прибора.

Задание:

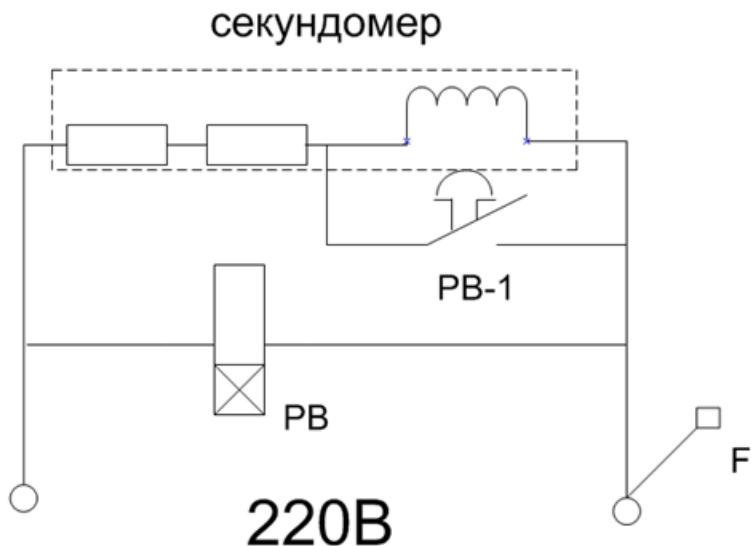
1. Опишите устройство электромагнитного реле времени.
2. Начертите условные графические обозначения, запишите их название:

Условные графические изображения реле:



3. Начертите схему и запишите ее оборудование:

Схема для определения времени срабатывания реле.



Секундомер начинает работать одновременно с подачей напряжения на катушку реле времени РВ. Когда контакт РВ-1 замкнется, то катушка секундометра окажется закороченной и ток в ней протекать не будет, следовательно секундомер остановится.

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 7

Практическая работа

Наименование работы: Построение релейных схем по структурной формуле.

Цель: Изучить построение релейных схем.

Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

В основу аналитической формы записи релейно-контактных схем положены следующие обозначения:

$A, B, \dots X, Y \dots$ - воспринимающие, промежуточные и исполнительные элементы (обычно их рабочие обмотки);

$a, b, \dots x, y \dots$ - замыкающие контакты;

$\bar{a}, \bar{b}, \dots \bar{x}, \bar{y}, \dots$ - размыкающие контакты;

$a + b$ – параллельные соединения контактов;

$a \cdot b$ – последовательное соединение контактов;

1 – постоянно замкнутая цепь;

0 – постоянно разомкнутая цепь;

f – структурная формула контактов;

F – структурная формула всей схемы.

При анализе и упрощении структурных формул однотактных релейных устройств пользуются следствиями законов алгебры логики, основные из которых таковы:

$$a \cdot 1 = a; \quad a \cdot 0 = 0; \quad a \cdot a \cdot a = a; \quad a + a^*b = a(1+b) = a; \quad a + \bar{a}^*b = a + b;$$

$$a + \bar{a} = 1; \quad a + 1 = 1; \quad a + 0 = a; \quad a + a + a = a; \quad a \cdot (a + b) = a;$$

$$\bar{a} + a^*\bar{b} = \bar{a} + \bar{b}; \quad a^*\bar{a} = 0; \quad \bar{a} + a^*b = \bar{a} + b$$

В дополнение к приведенным следствиям пользуются следующими теоремами.

Теорема 1. Если имеется схема соединения параллельно с замыкающим контактом x , то все контакты x , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты \bar{x} – единицами.

$$F = x + f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = x + f(0, 1, y, \dots, W)$$

Если схема соединена параллельно с размыкающим контактом \bar{x} , то все контакты \bar{x} , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты x – единицами.

$$F = \bar{x} + f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = \bar{x} + f(0, 1, y, \dots, W)$$

Пример 1:

Упростить структурную формулу $F = x + a [(x*c + a) v + \bar{x}*a*v (c + v)]$

Решение:

1. Применяем теорему 1:

$$F = x + a [0*c + a] v + 1*a*v (c + v)$$

2. Производим дальнейшие упрощения.

Так как $0 \cdot c = 0$; $1 \cdot av = av$, то

$$F = x + a [av + av (c + v)]$$

3. Вынесем за скобки общий множитель av :

$$F = x + a a v [1 + (c + v)]$$

4. $1 + (c + v) = 1$; $a a v = a v$. Поэтому:

$$F = x + a v$$

В результате упрощения получили схему, состоящую из трех контактов вместо одиннадцати.

Теорема 2. Если схема включена последовательно с замыкающим контактом x , то все контакты x , имеющиеся в схеме, можно заменить единицами, а контакты \bar{x} – нулями.

$$F = x \cdot f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = x \cdot f(0, 1, y, \dots, W).$$

Если схема соединена последовательно с элементами \bar{x} , то все контакты \bar{x} , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты x – единицами.

$$F = \bar{x} \cdot f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = \bar{x} \cdot f(0, 1, y, \dots, W).$$

Пример 2:

Упростить структурную формулу $F = \bar{x} \cdot [(x c + a) b + \bar{x} a (a + b)]$

Решение:

1. Применяем теорему 2:

$$\begin{aligned} F &= \bar{x} \cdot [(x c + a) b + \bar{x} a (a + b)] \\ F &= \bar{x} \cdot [(0 \cdot c + a) b + 1 \cdot a (a + b)] \\ F &= \bar{x} \cdot [a b + a (a + b)] = \bar{x} a (b + a + b) \\ F &= \bar{x} a \end{aligned}$$

Таким образом, схема способна выполнять те же функции при наличии двух контактов.

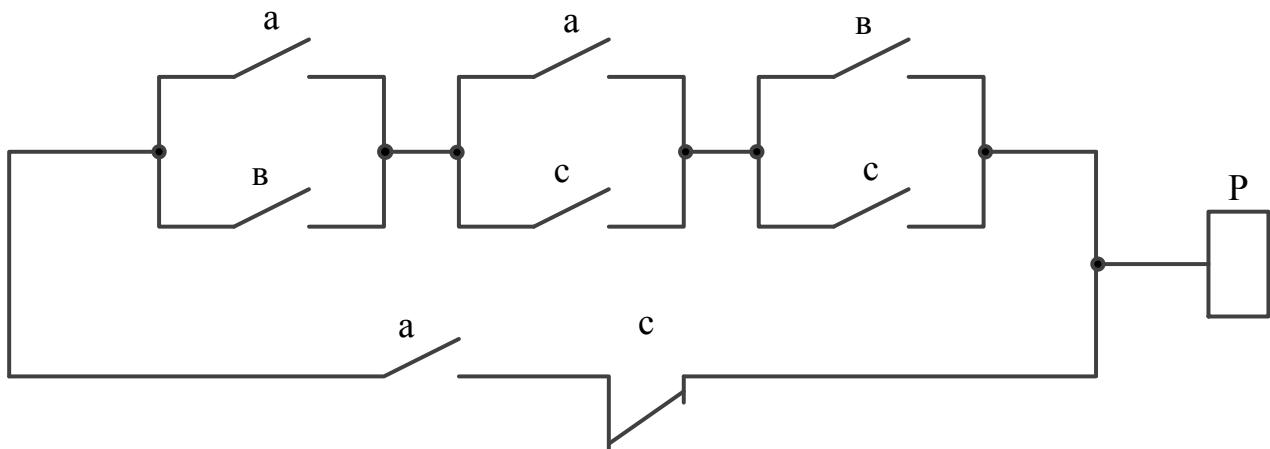
Порядок выполнения:

По заданной структурной формуле контактной схемы начертите соответствующую ей схему включения реле Р и, преобразовав ее, найти эквивалентную упрощенную. Начертите схему, соответствующую упрощенной формуле. Структурную формулу взять из таблицы по номеру своего варианта.

Пример выполнения задания.

$$F = [(a + b)^*(a + c)^*(b + c) + a^*c]^*P$$

Схема контактная до преобразования:



Преобразование схемы: $F = [(a + b)^*(a + c)^*(b + c) + a^*c]$

Раскроем скобки: $F = (a^*a + a^*c + b^*a + b^*c)^*(b + c) + a^*c$

$$F = (a^*a^*b + a^*c^*c + a^*c^*b + a^*c^*c + b^*a^*b + b^*a^*c + b^*b^*c + b^*c^*c + a^*c)$$

Применим законы алгебры $a^*a = a$

$$F = a^*b + a^*c + a^*c^*b + a^*c + a^*b + b^*a^*c + b^*c + b^*c + a^*c$$

Применим законы алгебры $a + a + a = a$

$$F = a^*b + a^*c + a^*c^*b + b^*c + a^*c = a^*b + a^*(c + c) + a^*c^*b + b^*c$$

Применим законы алгебры $a + a = 1, a^*1 = a$

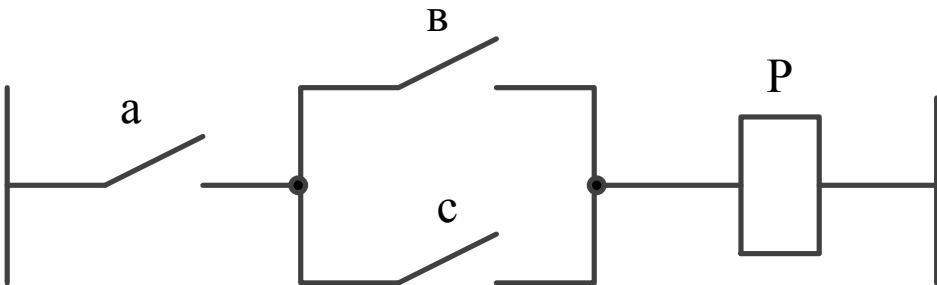
$$F = a^*b + a + a^*c^*b + b^*c$$

Применим законы алгебры $a + a^*b = a \quad F = a + a^*c^*b + b^*c$

Преобразуем, вынесем за скобки b^*c : $F = a + c^*b (a + 1)$

Применим законы алгебры $a + 1 = 1 \quad F = a + c^*b$

Схема контактная после преобразования:



ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант	Структурная формула контактной схемы
1	$F = [(a + b)^*(a + c)^*(b + c) + a^{\neg}c]^*P$
2	$F = [(a^{\neg}b^{\neg}c + a^{\neg}b^{\neg}c + a^{\neg}b^{\neg}c + a^{\neg}b^{\neg}c)]^*P$
3	$F = [(a^{\neg}b + c + (a + b)^*c + d a)]^*P$
4	$F = [(a + b + c^{\neg})^*(a b + a^{\neg}c^{\neg}) + a^{\neg}b^{\neg}]^*P$

5	$F = [(a + b + c + d)^*(\bar{a} + \bar{b} + c + d)]^*P$
6	$F = [(a^*b^*\bar{c} + a^*\bar{b}^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*c)]^*P$
7	$F = [(a + b c)^*(b + c)]^*P$
8	$F = [(\bar{a} + b + c)^*\bar{b} c + \bar{b}^*d]^*P$
9	$F = [(\bar{a} + b + c)^*\bar{b} c + bd]^*P$
10	$F = [(a \bar{b} + \bar{a}^*\bar{b} + a^*\bar{b})^*\bar{b} c + d(\bar{c} + b)]^*P$
11	$F = [(a + b)^*(a + c)^*(b + c) + a^*\bar{c}]^*P$
12	$F = [(a^*\bar{b}^*\bar{c} + a^*\bar{b}^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*\bar{c})]^*P$
13	$F = [(a^*\bar{b} + c + (a + b)^*c + d a)]^*P$
14	$F = [(a + b + \bar{c})^*(a \bar{b} + a^*\bar{c}) + \bar{a} \bar{b}]^*P$
15	$F = [(a + b + c + d)^*(\bar{a} + \bar{b} + c + d)]^*P$
16	$F = [(a^*b^*\bar{c} + a^*\bar{b}^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*c)]^*P$
17	$F = [(a + b c)^*(b + c)]^*P$
18	$F = [(a + b + c + d)^*(\bar{a} + \bar{b} + c + d)]^*P$
19	$F = [(a^*b^*\bar{c} + a^*\bar{b}^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*c)]^*P$
20	$F = [(a + b c)^*(b + c)]^*P$
21	$F = [(\bar{a} + b + c)^*\bar{b} c + \bar{b}^*d]^*P$
22	$F = [(\bar{a} + b + c)^*\bar{b} c + bd]^*P$
23	$F = [(a^*\bar{b}^*\bar{c} + a^*\bar{b}^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*\bar{c})]^*P$
24	$F = [(a^*\bar{b} + c + (a + b)^*c + d a)]^*P$
25	$F = [(a + b + \bar{c})^*(a \bar{b} + a^*\bar{c}) + \bar{a} \bar{b}]^*P$

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 8

Практическая работа

Наименование работы: Составление схем на логических элементах по контактной схеме.

Цель: Научиться составлять схемы на логических элементах.

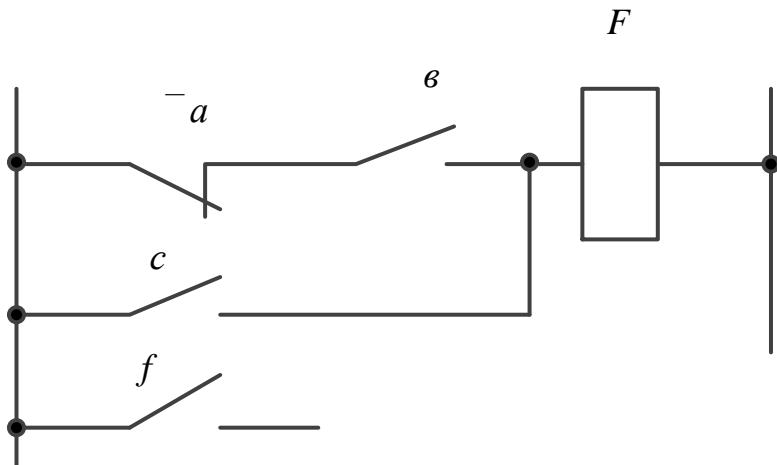
Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

Преобразование релейной контактной схемы в бесконтактную.

Рассмотрим построение на примере: $F = \overline{a} b + c$,

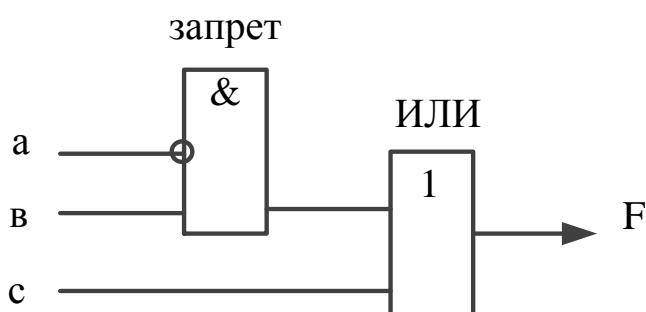
ей соответствует контактная схема:



Выделим сигналы:

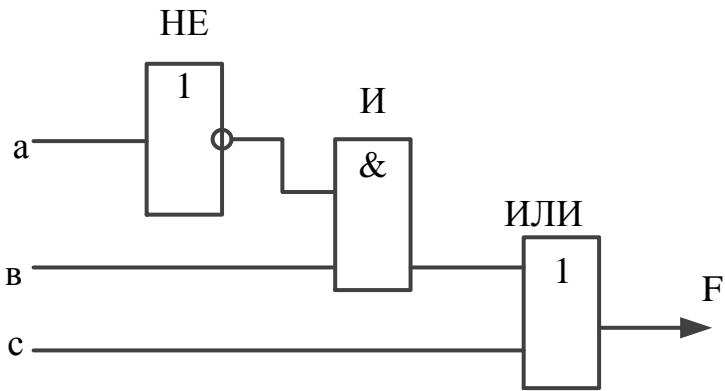
- входные \overline{a}, b, c ;
- выходные f
- промежуточных нет.

Этой структурной схеме соответствует бесконтактная схема из двух логических элементов: «запрет» и одного элемента ИЛИ, соответствующего сложению.



Возможен и второй вариант выполнения схемы.

Три логические элемента: НЕ, соответствующего отрицанию элемента a ; одного И, соответствующего умножению; одного элемента ИЛИ, соответствующего сложению.



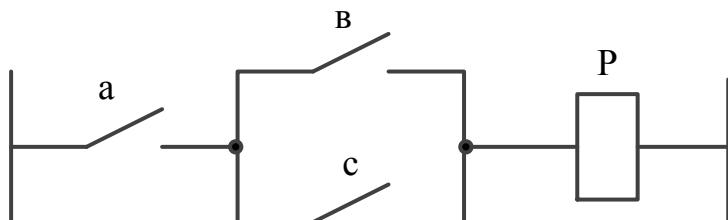
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Преобразовать заданную структурную формулу. Составить схему на логических элементах по упрощенной формуле. Данные взять из таблицы вариантов.

Пример выполнения задания.

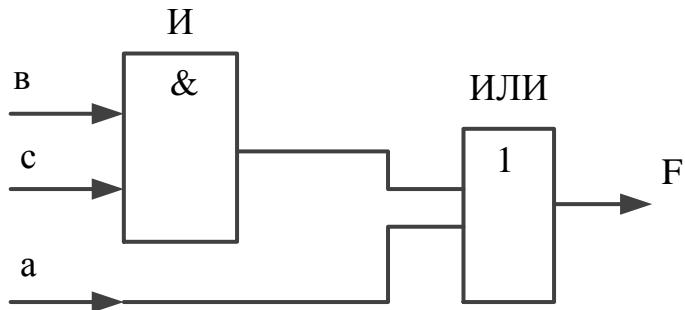
Составить схему на логических элементах, эквивалентную по своему действию упрощенной контактной схеме, полученной в задании 3 на логических элементах: $F = a + c$

Преобразуем релейную контактную схему в бесконтактную на логических элементах.



Входные сигналы a, b, c ; выходной сигнал F .

Структурной схеме соответствует бесконтактная схема из двух логических элементов И, ИЛИ.



ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант	Структурная формула контактной схемы
1	$F = [(a + b)*(a + c)*(b + c) + a^* \bar{c}]^*P$
2	$F = [(a^* \bar{b}^* \bar{c} + a^* b^* c + \bar{a}^* \bar{b}^* c + a^* b^* \bar{c})]^*P$
3	$F = [(a^* \bar{b} + c + (a + b)^* c + d a)]^*P$
4	$F = [(a + b + \bar{c})^*(a b + a^* \bar{c}) + \bar{a} b]^*P$
5	$F = [(a + b + c + d)^*(\bar{a} + \bar{b} + c + d)]^*P$
6	$F = [(a^* b^* \bar{c} + a^* \bar{b}^* c + \bar{a}^* b^* c + a^* b^* \bar{c})]^*P$
7	$F = [(a + b c)^*(b + c)]^*P$
8	$F = [(\bar{a} + b + c)^* b c + b^* d]^*P$
9	$F = [(\bar{a} + b + c)^* b c + b d]^*P$
10	$F = [(a b + \bar{a}^* b + a^* \bar{b})^* b c + d(\bar{c} + b)]^*P$
11	$F = [(a + b)^*(a + c)^*(b + c) + a^* \bar{c}]^*P$
12	$F = [(a^* \bar{b}^* \bar{c} + a^* b^* c + \bar{a}^* \bar{b}^* c + a^* b^* \bar{c})]^*P$
13	$F = [(a^* \bar{b} + c + (a + b)^* c + d a)]^*P$
14	$F = [(a + b + \bar{c})^*(a b + a^* \bar{c}) + \bar{a} b]^*P$
15	$F = [(a + b + c + d)^*(\bar{a} + \bar{b} + c + d)]^*P$
16	$F = [(a^* b^* \bar{c} + a^* \bar{b}^* c + \bar{a}^* b^* c + a^* b^* \bar{c})]^*P$

17	$F = [(a + b)c]^*(b + c)]^*P$
18	$F = [(a + b + c + d)^*(\bar{a} + \bar{b} + c + d)]^*P$
19	$F = [(a^*b^*\bar{c} + a^*\bar{b}^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*\bar{c})]^*P$
20	$F = [(a + b)c]^*(b + c)]^*P$
21	$F = [(\bar{a} + b + c)^*bc + bd]^*P$
22	$F = [(\bar{a} + b + c)^*bc + bd]^*P$
23	$F = [a^*\bar{b}^*\bar{c} + a^*b^*c + \bar{a}^*\bar{b}^*c + a^*\bar{b}^*\bar{c}]^*P$
24	$F = [a^*\bar{b} + c + (a + b)^*c + da]^*P$
25	$F = [(a + b + \bar{c})^*(ab + a^*\bar{c}) + \bar{a}b]^*P$

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 9

Практическая работа

Наименование работы: Изучение задающих и сравнивающих устройств.

Цель: Изучить устройство и назначение задающих и сравнивающих устройств.

Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

Задающее устройство (ЗУ) – функциональный элемент, служащий для формирования сигнала, согласно заданному значению регулируемой величины.

Сравнивающее устройство – это функциональный элемент, осуществляющий алгебраическую операцию по отношению к воздействиям, поступающим на его вход (например, операции сложения или вычитания поступающих сигналов).

Задающее воздействие $U(t)$ – это величина, соответствующая заданному (предписанному) значению регулируемой величине.

Сравнивающие устройства измеряют рассогласование $\varepsilon(t) = Y_3(t) - Y(t)$ – отклонение управляемой величины $Y(t)$ от ее заданного значения $Y_3(t)$. Сравнивающие устройства в зависимости от вида обрабатываемого сигнала могут быть аналоговые и цифровые, а по результату сравнения – релейными (двух- и более позиционными) или иметь на выходе абсолютную разность рассогласования.

На рис.1а приведена схема сравнивающего устройства на операционном усилителе ОУ с отрицательной обратной связью через резистор R_0 . На оба входа ОУ подаются: на инвертирующий (-)- сигнал выходной управляемой величины САУ $Y(t)$, а на неинвертирующий (+) - сигнал с задающего устройства $Y_3(t)$. Если принять в схеме $R_2/R_3=R_1/R_0$, то сигнал на выходе будет пропорционален разности $\varepsilon(t) = [Y_3(t) - Y(t)] R_0/R_1$.

Этот сигнал подается на другие элементы САР, в частности в регулирующее устройство для выработки соответствующего сигнала управления. Для двухпозиционного регулирования используются компараторы (нуль-органы) (рис.1б), в котором в отличие от схемы (рис.1а) отрицательная обратная связь отсутствует, т.е. ОУ работает с коэффициентом усиления, стремящимся к бесконечности. В этом случае на выходе ОУ при $\varepsilon(t) < 0$ сигнал $d(t)$ скачком изменяется с логической “1” на логический “0”.

Аналоговые схемы сравнения сигналов просты, но не всегда имеют достаточную точность и стабильность работы.

Для сравнения цифровых величин применяются цифровые логические схемы. Сравнение производится поразрядно. На рис.2 приведена схема сравнения одноразрядных кодов двух сравниваемых величин $Y(t)$ и $Y_3(t)$, собранная на логических элементах И. Схему сравнения для двух и более разрядов составляют из одноразрядных схем. Цифровые схемы более громоздки в исполнении, но более надежны в работе в сравнении с аналоговыми. Поэтому в отдельности они применяются достаточно редко. Все большее применение находят цифровые сравнивающие устройства, реализуемые рабочими программами микропроцессорных устройств.

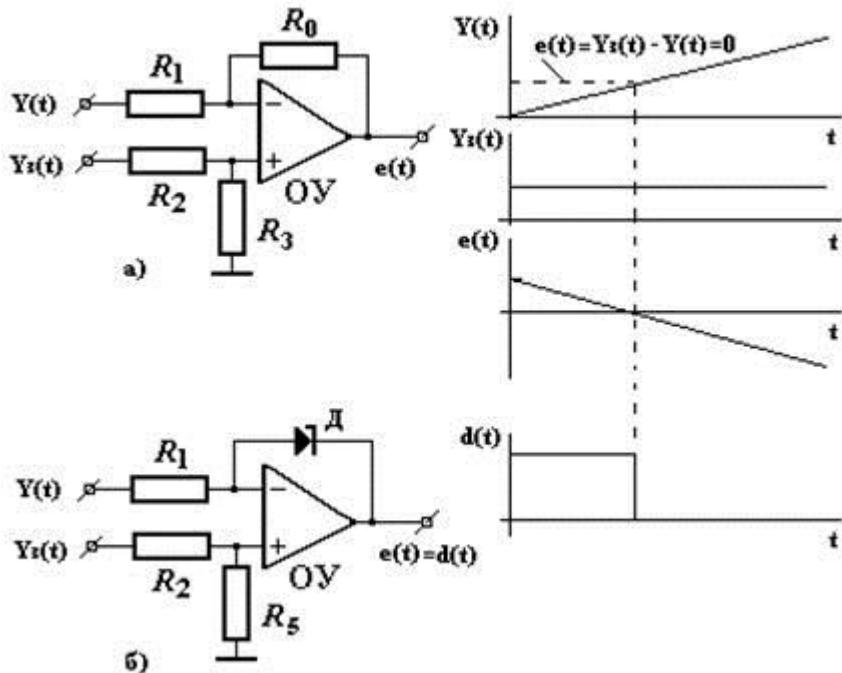


Рисунок 1 – Аналоговые сравнивающие устройства.

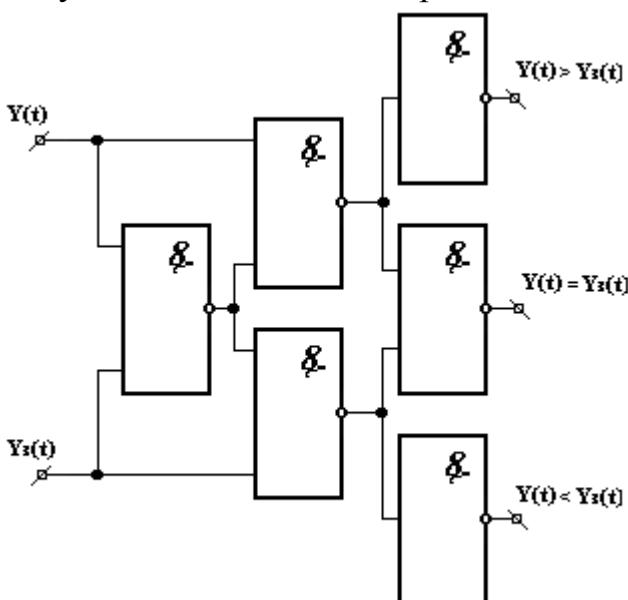


Рисунок 2 – Схема сравнения одноразрядных кодов двух сравниваемых

величин $Y(t)$ и $Y_3(t)$.

Задающее устройство САР формирует и хранит величину воздействия, переменные величины, уставки, коэффициенты, метки времени и т.п. Задающее устройство вырабатывает условия протекания технологического процесса $Y_3(t)$ - функцию времени. Эта функция может быть одномерной (одна величина) или многомерной (несколько величин). В системах автоматического управления чаще встречаются многомерные функции времени, когда задаются условия одновременно по нескольким параметрам - температуре, давлению и т.д. В некоторых случаях задающая величина является постоянной во времени – тогда задается не функция времени, а отдельные величины.

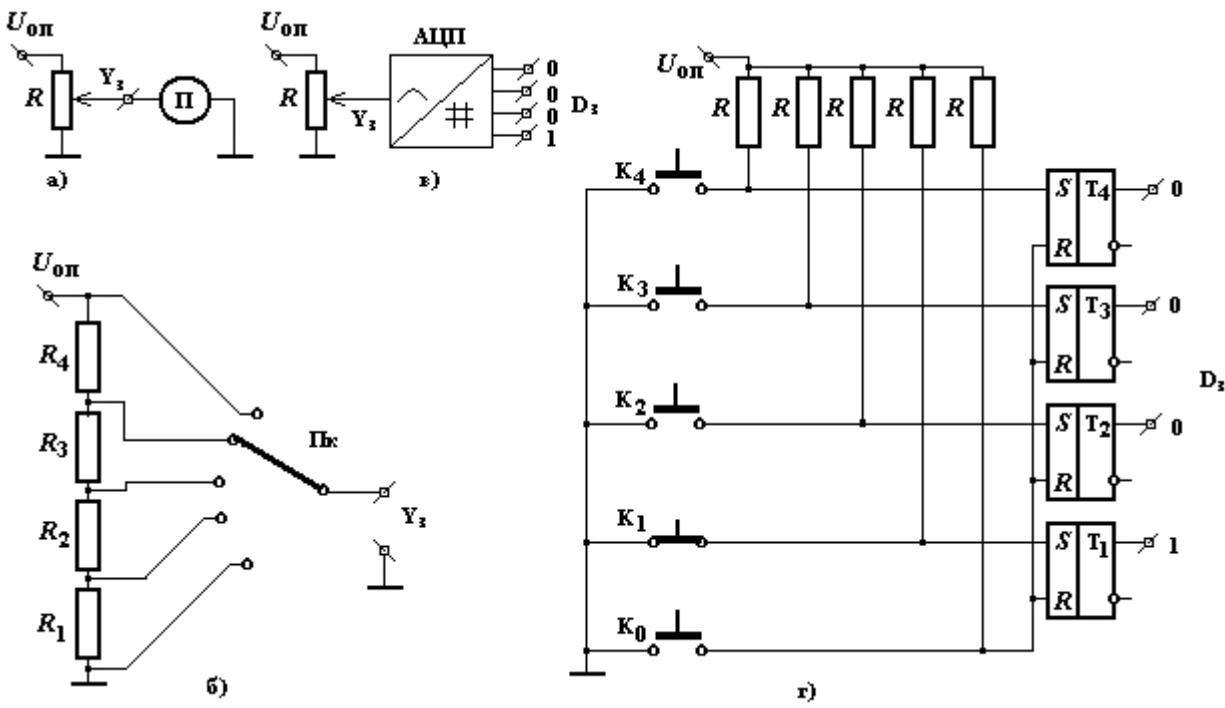
Задающие устройства выдают сигнал в аналоговой или цифровой форме. В качестве задающего устройства ранее применялись кулачковые механизмы, функциональные потенциометры, перфокарты, магнитные пленки и кинопленки и т. п. В настоящее время используются электронные аналоговые и цифровые устройства.

На рис.1. приведены некоторые типы задающих устройств - задатчиков постоянных аналоговых и цифровых величин. Существует достаточно широкий класс потенциометрических задающих устройств, в основе которых лежит уставка величины с помощью потенциометра R (рис.1а). На переменный резистор R подается опорное напряжение U_{on} .

Постоянный сигнал Y_3 задается и запоминается положением движка потенциометра R . Например, при необходимости задать величину “1” положение движка устанавливают таким образом, что $Y_3 = 1B$, величину “1,4” – $= 1,4B$ и т.д. Для этого к движку подсоединяют измерительный прибор P , проградуированный в единицах задаваемой величины, например, температуры. Иногда уставки имеют постоянные величины – их задают с помощью дискретного потенциометра, имеющего переключатель резисторов P_k (рис.1б). Положение переключателя 1-ое, 2-ое и т.д. также градуируется в единицах задаваемой величины.

При исчезновении внешнего напряжения заданная величина остается введенной и вновь подается в САУ при его появлении.

При необходимости использования задаваемой величины в цифровом виде потенциометрический задатчик снабжается аналого-цифровым преобразователем-АЦП (рис.1в). На его выходе имеется цифровой код D_3 задаваемой величины Y_3 .



3

апоминание заданной величины осуществляется за счет неизменного положения движка потенциометра или переключателя.

Рисунок 1 – Аналоговые и цифровые постоянные задающие устройства:

а- аналоговый потенциометрический; б- цифровой потенциометрический; в- дискретный потенциометрический; г- цифровой; R- потенциометр; Π_k - переключатель; П- измерительный прибор; АЦП- аналого-цифровой преобразователь; T_1-T_4 – триггеры; $K_0 - K_4$ - кнопки ввода сигнала; U_{on} – опорное напряжение.

Для управления цифровыми системами на базе микропроцессоров и компьютеров используются кнопочные задатчики. На рис.1г приведена схема дискретного четырехразрядного задатчика сигнала. Он состоит из кнопок ввода K_1-K_4 , кнопки сброса K_0 и триггеров памяти $T_1 - T_4$. Если кнопки $K_1 - K_5$ отжаты, не соединяют общую шину со входами триггеров $T_1 - T_4$, то на S-выходах последних имеются логические “0”. Логический “0” триггеров устанавливается путем нажатия кнопки K_0 . Для ввода цифрового кода нажимаются кнопки K_1-K_4 . Например, для ввода “1” нажимается K_1 . Триггер T_1 перекидывается, и на его S-выходе появляется логическая “1”, которая запоминается, несмотря на то, что кнопка K_1 отпускается. Далее можно вводить другие цифры, например, “2”, нажимая на соответствующие кнопки – K_2 и т.д. В результате на выходе триггеров появляется цифровой позиционный код вводимой величины, который используется далее САУ для получения управляющего сигнала. Цифровой код сохраняется до нажатия кнопки K_0 или снятия напряжения со схемы. Последнее обстоятельство является недостатком описанной схемы. Для его устранения используют специальные источники

питания – аккумуляторы или постоянные запоминающие устройства. При многопараметрических задающих аналоговых сигналах задание каждого параметра производится отдельно, что предопределяет соответствующее количество вводных потенциометров. При использовании цифровой формы ввода информации отдельно хранятся только введенные величины, их ввод может осуществляться одними и теми же потенциометрами и кнопками.

Контрольные вопросы

1. Определите назначение задающего устройства.
2. Каким образом можно задать аналоговую величину?
3. Каким образом можно задать цифровую величину?
4. Опишите аналоговый потенциометрический задатчик
5. Опишите цифровой потенциометрический задатчик.
6. Опишите дискретный потенциометрический задатчик.
7. Опишите цифровой задатчик.
8. Для чего необходимо постоянное запоминающее устройство?
9. Для чего необходимо ОЗУ?
10. Поясните назначение сравнивающего устройства.
11. Какие элементы содержит аналоговое сравнивающее устройство?
12. Какие элементы содержит цифровое сравнивающее устройство?
13. Опишите устройство компаратора.

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 10

Практическая работа

Наименование работы: Изучение принципа действия усилителей.

Цель: Изучить устройство, принцип действия и назначение усилителей.

Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

Магнитные усилители

В современных системах автоматики для управления исполнительными механизмами требуется мощность, во много раз превышающая выходную мощность сигнала датчиков. Для усиления сигналов применяются различные типы усилителей. В сельскохозяйственной автоматике используются главным образом электромеханические, магнитные, электронные и гидравлические усилители, значительно реже — пневматические, ионные и электромашинные.

Магнитные усилители (МУ) благодаря своим существенным преимуществам в ряде случаев вытесняют электромашинные и электронные. Они не имеют подвижных частей, долговечны, нечувствительны к вибрациям и толчкам, устойчиво работают непосредственно от сети переменного тока при значительных колебаниях напряжения. Коэффициент усиления МУ весьма велик (10^3 — 10^6), поэтому их можно использовать для усиления очень малых сигналов постоянного тока. МУ обеспечивают возможность простого суммирования нескольких сигналов. Максимальная выходная мощность МУ достигает нескольких десятков киловатт; Недостатки МУ: значительная инерционность и большая масса, зависимость коэффициента усиления от частоты и напряжения источника питания, низкий коэффициент мощности и искажение формы кривой тока нагрузки.

Магнитными эти усилители называют потому, что их работа основана на использовании зависимости магнитной проницаемости ферромагнитных материалов на переменном токе от постоянного подмагничивающего тока.

С увеличением постоянного подмагничивания магнитная проницаемость магнитопровода падает, следовательно уменьшается индуктивное сопротивление обмотки переменного тока, которое пропорционально магнитной проницаемости, а ток и напряжение на нагрузке, включенной последовательно с этой обмоткой, растут.

Конструктивно МУ представляет собой замкнутый магнитопровод, составленный из двух тороидных или двух П-образных сердечников с несколькими обмотками. На крайних стержнях магнитопровода (рис. 1. а) находятся две секции и $\frac{W_1}{2}$ и $\frac{W_2}{2}$ так называемой силовой обмотки переменного тока.

 Чтобы обмотка переменного тока не наводила ЭДС в обмотке управления и других обмотках МУ их располагают на стержнях магнитопровода так, что переменные магнитные потоки взаимно компенсировали, нагрузку r_h включают в цепь переменного тока. Коэффициенты усиления МУ вычисляются по следующим выражениям:

$$k_i = \frac{\Delta I_h}{\Delta I_y},$$

по току

$$k_h = \frac{\Delta U_h}{\Delta U_y} = \frac{\Delta I_h r_h}{\Delta I_y r_y} = k_i \frac{Z_h}{r_y},$$

по напряжению

$$k_p = \frac{\Delta P_h}{\Delta P_y} = k_i^2 \frac{Z_h}{r_y}$$

по мощности

где ΔI_h , ΔU_h , ΔP_h - изменение тока, напряжения и мощности в нагрузке при изменении соответственно цепи управления;

r_h и r_y - активное сопротивление нагрузки и цепи управления.

Магнитные усилители только с одной обмоткой управления одинаково реагируют на различную полярность тока управления, причем в начале характеристики (относительно точки 0) при незначительных токах управления усиление мало (рис. 1, в). Для создания МУ, чувствительного к полярности сигнала, и увеличения коэффициента усиления при малых токах управления применяется так называемая обмотка смещения СМ, которая получает питание от стабилизированного источника постоянного тока. Характеристика МУ с обмоткой смещения показана на рисунке 1, в.

Эффективным средством увеличения коэффициента усиления МУ оказывается введение внешней и внутренней положительных обратных связей (ОС). Схемы МУ с внешней и внутренней обратными связями показаны соответственно на рисунке 2 а и б.

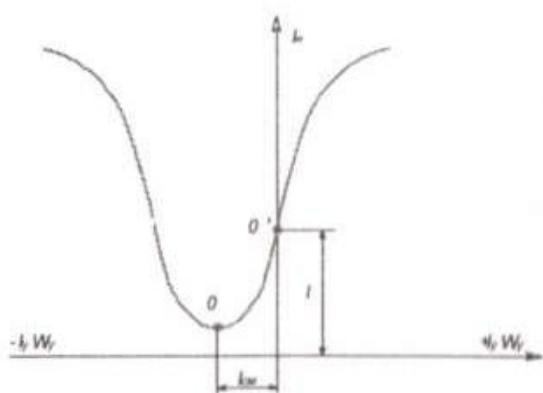
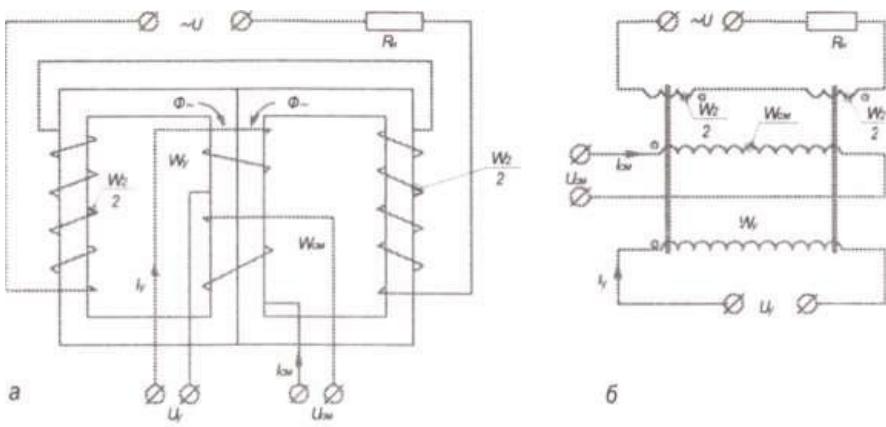


Рисунок 1- Магнитный усилитель: а - общая схема; б — принципиальная схема; в — характеристика управления с обмоткой смещения.

Порядок выполнения работы

На рис. приведена схема дроссельного магнитного усилителя.

Снять зависимость $Z=f(I_y)$, изменяя величину тока управления I_y в обмотке управления W_y от 0 до 7 mA (изменением положения подвижного контакта реостата R_y), измерить ток I_h , напряжение U на рабочей обмотке W_p .

Данные опыта занести в таблицу.

Вычислить величину полного сопротивления Z и построить характеристику $Z=f(I_y)$.

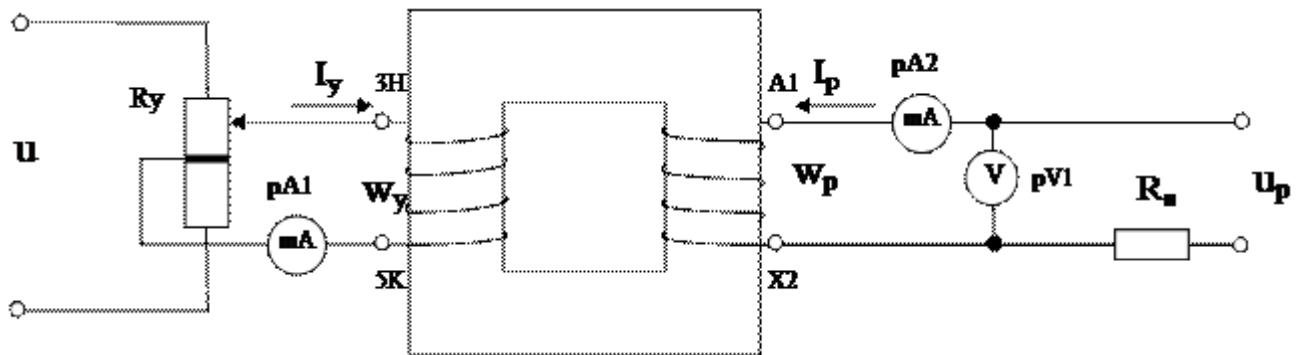


Рис. Схема дросельного магнитного усилителя

Таблица

I_y, mA	0	1	2	3	4	5	6	7
I_h, mA								
$U, В$								
$Z, Ом$								

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и принцип действия МУ.
2. Пояснить зависимость $Z=f(I_y)$.
3. Что представляет собой характеристика "вход – выход" и как она экспериментально снимается.
4. Назначение и принцип действия обратной связи в МУ.
5. Коэффициенты усиления K_i ; K_u ; K_p порядок их расчета. Влияние обратной связи на коэффициент усиления.

12 Определение надежности электрических схем – 4 часа

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 11

Практическая работа

Наименование работы: Определение устойчивости систем автоматического управления.

Цель: Изучить расчет устойчивости систем методами Гурвица и Михайлова.

Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

В практической работе необходимо провести исследование устойчивости линейных систем автоматического управления по алгебраическим и частотным критериям. Алгебраические критерии применяют для исследования систем, процессы в которых описываются уравнениями не выше пятого-шестого порядка, а частотные характеристики (графоаналитические) – для исследования систем, характеризуемых уравнениями любого порядка. Из алгебраических критериев наибольшее практическое применение получили критерии Раусса и Гурвица.

Критерий Гурвица представляет собой последовательность математических операций, осуществляемых при решении задач, и является простым методом анализа характеристического уравнения системы.

$$G(p) = a_0 \cdot p^n + a_1 \cdot p^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot p + a_n = 0$$

В практических расчетах устойчивость систем определяют по критерию устойчивости Гурвица.

Для устойчивых систем характеристические уравнения первого и второго порядка должны иметь положительные коэффициенты:

$$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 > 0$$

Применительно к уравнениям более высоких порядков, кроме положительных значений коэффициентов

$$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 > 0; \dots a_{n-1} > 0; a_n > 0$$

необходимо соблюдение следующих соотношений:

$$\text{для уравнения } G(p) = a_0 \cdot p^3 + a_1 \cdot p^2 + a_2 \cdot p + a_3 = 0$$

$$\text{условие устойчивости } \Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0;$$

для уравнения $G(p) = a_0 \cdot p^4 + a_1 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_4 = 0$

условие устойчивости $\Delta_3 = a_3(a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3) - a_4 \cdot a_1^2 > 0$.

Пример 1. Определить по критерию Гурвица, устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$a_0 \cdot p^3 + a_1 \cdot p^2 + a_2 \cdot p^3 + a_3 = 0$$

коэффициенты которого:

$$a_0 = 1; a_1 = 1,48; a_2 = 4,6; a_3 = 4$$

Решение:

1. При заданных коэффициентах уравнение имеет вид

$$p^3 + 1,48 p^2 + 4,6 p^3 + 4 = 0$$

Коэффициенты данного уравнения

$$a_0 = 1 > 0; a_1 = 1,48 > 0; a_2 = 4,6 > 0; a_3 = 4 > 0$$

2. Вычисляя определители, получим:

$$\Delta_1 = a_1 = 1,48 > 0$$

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 1,48 \cdot 4,6 - 1 \cdot 4 = 2,8 > 0$$

3. Так как все коэффициенты и определители положительны, то данная система устойчива.

Пример 2. Определить по критерию Гурвица, устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$p^4 + 16 p^3 + 32 p^2 + 10 p^3 + 5 = 0$$

Решение:

1. Коэффициенты данного уравнения

$$a_0 = 1 > 0; a_1 = 16 > 0; a_2 = 32 > 0; a_3 = 10 > 0; a_4 = 10 > 0$$

2. Вычисляя определители, получим:

$$\Delta_1 = a_1 = 16 > 0$$

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 16 \cdot 32 - 1 \cdot 10 = 502 > 0$$

$$\Delta_3 = a_3 (a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3) - a_4 \cdot a_1^2 = 10 \cdot 502 - 5 \cdot 16^2 = 3740 > 0$$

3. Так как все коэффициенты и определители положительны, то данная система устойчива.

Критерий Михайлова относится к графоаналитическим. Характеристическое уравнение любой степени можно представить в виде комплексного полинома

$$W(jw) = p(w) + jJ(w)$$

где $W(jw)$ – вектор, амплитуда и фаза которого являются функциями частоты w . По критерию Михайлова для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы при изменении угловой частоты от 0 до ∞ годограф, описываемый концом вектора $W(jw)$ на плоскости комплексного переменного, начинался на вещественной положительной полуоси $p(w)$ и, вращаясь только против часовой стрелки, нигде не обращаясь в нуль, проходил последовательно число квадрантов, которое равно степени n характеристического уравнения, повернувшись на угол $n\pi/2$.

При немонотонном изменении годографа система неустойчива. Система находится в нейтральном состоянии, если годограф при некотором значении w проходит через начало координат.

Пример:

По заданному характеристическому уравнению определить устойчивость системы автоматического управления по двум критерию: Михайлова.

Уравнение: $5p^3 + 2p^2 + 5p + 4 = 0$

Решение по критерию Михайлова:

1. Для построения годографа Михайлова определяем вещественную и мнимую части функции: $W(jw) = R(w) + jQ(w)$

путем замены в уравнении p на jw и разделения его на вещественную и мнимую части:

$$5*(jw)^3 + 2*(jw)^2 + 5*(jw) + 4 = 0$$

Известно, что $j = \sqrt{-1}$; $j^2 = -1$; $j^3 = -j$, тогда уравнение имеет вид:

$$-5jw^3 - 2w^2 + 5jw + 4 = 0$$

$$\text{и } P(w) = -2w^2 + 4$$

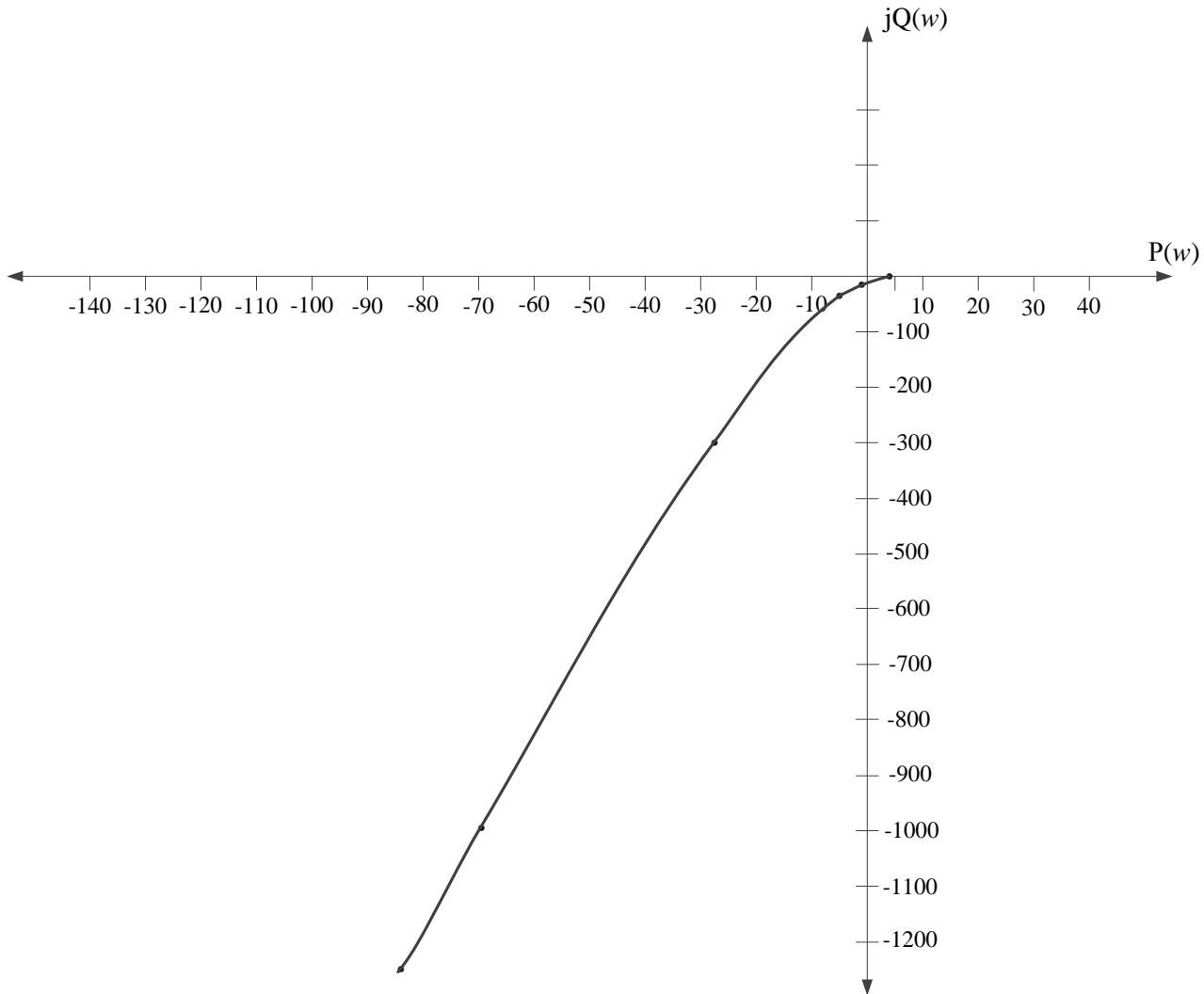
$$Q(w) = -5jw^3 + 5jw$$

Задавая различные значения w , находим соответствующие им $P(w)$ и $Q(w)$.

Заносим значения в таблицу

w	0	1,6	4	2,1	6	7	10	∞
$P(w)$	4	-1,12	-28	-4,82	-68	-94	-196	$-\infty$
$Q(w)$	0	-12,48	-300	-35,8	-1050	-1680	-4950	$-\infty$

По значениям $P(w)$ и $Q(w)$ строим годограф Михайлова



Годограф начинается на вещественной положительной полусоси $P(w)$, и, вращаясь против часовой стрелки, проходит только 2 квадранта, не поворачиваясь на угол $3\pi/2$, это не соответствует степени уравнения, таким образом, система по критерию Михайлова является неустойчивой.

ЗАДАНИЕ

По заданному характеристическому уравнению определить устойчивость системы автоматического управления по двум критериям: Гурвица и Михайлова.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант	Характеристическое уравнение САУ
1	$5p^3 + 2p^2 + 5p + 4 = 0$
2	$10p^3 + 2p^2 + 4p + 7 = 0$
3	$0,001p^3 + 0,25p^2 + 1,8p + 245 = 0$
4	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$
5	$2p^4 + 5p^3 + 10p^2 + p + 4 = 0$
6	$5p^3 + 2p^2 - 3p + 1 = 0$
7	$p^3 + p^2 + 2p + 1 = 0$
8	$3p^3 + 2p^2 + p + 1 = 0$
9	$4p^3 + 3p + 1 = 0$
10	$p^3 + 10p^2 + p + 2 = 0$
11	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$
12	$2p^4 + 5p^3 + 10p^2 + p + 4 = 0$
13	$5p^3 + 2p^2 - 3p + 1 = 0$
14	$5p^3 + 2p^2 + 5p + 4 = 0$
15	$10p^3 + 2p^2 + 4p + 7 = 0$
16	$0,001p^3 + 0,25p^2 + 1,8p + 245 = 0$
17	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$
18	$4p^3 + 3p + 1 = 0$
19	$p^3 + 10p^2 + p + 2 = 0$
20	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$
21	$2p^4 + 5p^3 + 10p^2 + p + 4 = 0$
22	$5p^3 + 2p^2 - 3p + 1 = 0$
23	$0,001p^3 + 0,25p^2 + 1,8p + 245 = 0$
24	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$
25	$2p^4 + 5p^3 + 10p^2 + p + 4 = 0$

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА № 12

Практическая работа

Наименование работы: Определение надежности электрических схем.

Цель: Изучить расчет надежности электрических схем.

Время выполнения: 4 часа

Теоретические сведения.

Надежность определяется как свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах.

К количественным показателям надежности относятся: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ, средний срок службы, среднее время восстановления, средний срок сохраняемости, коэффициент готовности объекта и другие.

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = N(t) / N_h,$$

где $N(t)$ – число изделий, безотказно работающих до конца наработки,

N_h – начальное число изделий или

$$P(t) = e^{-kt},$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды;

$k = 1$ – для нормальных условий,

$k = 10 \dots 15$ – для стационарных установок в сельском хозяйстве,

$k = 25 \dots 30$ – для мобильных установок;

λ – **интенсивность отказов** (один в час), которая указывается в технической документации на изделие или принимается по таблицам показателей надежности;

t – время эксплуатации.

Средняя наработка на отказ

$$T_{cp} = \sum t_i / n; \quad T_{cp} = 1 / \lambda,$$

где t_i – наработка на отказ i -го изделия;

n – число отказавших изделий.

Применительно к восстанавливаемым изделиям:

Параметр потока отказов

$$w = \Delta N / N_h * \Delta t,$$

где ΔN – число отказавших изделий за время Δt ;

N_h – число изделий в партии;

Δt – интервал времени испытания.

Наработка на отказ

$$T_0 = \sum \Delta t_i / n,$$

где n – число отказов изделий за время испытаний (наблюдений);

Δt_i – время исправной работы изделия между $i-1$ и i -м отказами.

Среднее время восстановления

$$T_B = \sum \tau_i / m,$$

где τ_i – длительность восстановления изделия;

m – число изделий, подвергшихся восстановлению.

Коэффициент готовности

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_B)$$

Вероятность безотказной работы автоматической системы зависит от надежности входящих в нее элементов системы, структурной схемы их соединения и степени резервирования.

С точки зрения надежности структурные схемы соединения элементов подразделяют: с последовательным, параллельным и смешанным соединением.

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной системы

$$P(t) = \prod P_i(t) = e^{-\sum k \lambda_i t},$$

$P_i(t)$, $\lambda_i t$ – вероятность безотказной работы и интенсивность отказов элемента.

При параллельном соединении m элементов:

$$P(t) = 1 - \prod [1 - P_i(t)],$$

При смешанном соединении n последовательных и m параллельных элементов:

$$P(t) = \prod \{1 - \prod [1 - P_i(t)]\}$$

Пример:

Для электрической схемы управления объектом (станция управления «Климатика-1») заданная вероятность безотказной работы $P_3(t) = 0,95$. Срок нормальной эксплуатации $t=10000$ час. Коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды $K=10$. Определить: действительную вероятность безотказной работы.

Решение. Разобьем элементы на группы:

№	Наименование элементов системы	Число однотипных элементов	Интенсивность отказа элементов λ_i , (1/час)	Результирующая интенсивность отказов λ_{p1} , (1/час)
1	Сопротивления	12	$0,03*10^{-6}$	$0,36*10^{-6}$
2	Двигатели	10	$0,03*10^{-6}$	$0,3*10^{-6}$
3	Потенциометры	3	$0,1*10^{-6}$	$0,3*10^{-6}$
4	Тиристоры	3	$0,157*10^{-6}$	$0,47*10^{-6}$
5	Конденсаторы	6	$0,1*10^{-6}$	$0,6*10^{-6}$
6	Выключатель	1	$0,1375*10^{-6}$	$0,1375*10^{-6}$

Результирующая интенсивность отказов всех элементов схемы:

$$\lambda_{p1} = n_1 * \lambda_1 = 12 * 0,03*10^{-6} = 0,36*10^{-6} \text{ 1/час};$$

$$\lambda p_2 = n_2 * \lambda_2 = 10 * 0,03 * 10^{-6} = 0,3 * 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda p_3 = n_3 * \lambda_3 = 3 * 0,1 * 10^{-6} = 0,3 * 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda p_4 = n_4 * \lambda_4 = 3 * 0,157 * 10^{-6} = 0,47 * 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda p_5 = n_5 * \lambda_5 = 6 * 0,1 * 10^{-6} = 0,6 * 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda p_6 = n_6 * \lambda_6 = 1 * 0,1375 * 10^{-6} = 0,1375 * 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

Определяем суммарную интенсивность отказов всех элементов схемы:

$$\lambda p_{\Sigma} = \sum n_i * \lambda_i = 0,36 * 10^{-6} + 0,3 * 10^{-6} + 0,3 * 10^{-6} + 0,47 * 10^{-6} + 0,6 * 10^{-6} + 0,1375 * 10^{-6} = 2,17 * 10^{-6} \text{ 1/час.}$$

Определяем действительную вероятность безотказной работы элементов схемы:

$$P_{\text{рез.}} = e^{-\kappa * \lambda p * t} = e^{-10 * 2,17 * 10^{-6} * 10000} = 0,8$$

Из расчетов видно, что результирующая надежность системы получилась меньше ее заданного значения ($0,95 > 0,8$).

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Для электрической схемы управления объектом заданная вероятность безотказной работы $P_3(t)$. Срок нормальной эксплуатации t , час. Коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды $K=10$. Определить: действительную вероятность безотказной работы. Данные взять из таблицы.

Вариант	Наименование объекта	Заданная вероятность безотказной работы, $P_3(t)$	Срок нормальной эксплуатации, t , час
1	Защита УВТЗ-1М	0,96	10000
2	Устройство РУД-0,5-У3	0,96	10000
3	Схема пуска АД	0,95	1500
4	Водонапорная башня	0,5	3000
5	Двухагрегатная насосная установка	0,5	3000
6	Станция управления «Климатика-1»	0,95	10000
7	Поточная линия приготовления корнеклубнеплодов	0,5	1500
8	Подача пилорамы	0,7	3000
9	Бункер активного вентилирования	0,7	1500
10	Ультразвуковой генератор	0,96	10000

11	Защита УВТЗ-1М	0,96	10000
12	Устройство РУД-0,5-УЗ	0,96	10000
13	Схема пуска АД	0,95	1500
14	Водонапорная башня	0,5	3000
15	Двухагрегатная насосная установка	0,5	3000
16	Станция управления «Климатика-1»	0,95	10000
17	Поточная линия приготовления корнеклубнеплодов	0,5	1500
18	Подача пилорамы	0,7	3000
19	Бункер активного вентилирования	0,7	1500
20	Ультразвуковой генератор	0,96	10000
21	Защита УВТЗ-1М	0,96	10000
22	Устройство РУД-0,5-УЗ	0,96	10000
23	Схема пуска АД	0,95	1500
24	Водонапорная башня	0,5	3000
25	Двухагрегатная насосная установка	0,5	3000