

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»

М и н с к 2 0 0 8

УДК 621-52 (075.8)

ББК 32.965я7

Т 33

Составители:

В.П. Автушко, М.И. Жилевич, С.В. Гиль

Рецензенты:

Ю.М. Жуковский, И.М. Флерко

Т 33 Теория автоматического управления: лабораторные работы (практикум) для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / Сост.: В.П. Автушко, М.И. Жилевич, С.В. Гиль. – Минск: БНТУ, 2008. – 76 с.

В лабораторном практикуме освещены вопросы определения статических переходных и частотных характеристик основных функциональных элементов автоматических систем, конструкций и принципа действия их, а также систем автоматического регулирования различными процессами.

ISBN 978-985-479-861-5

© БНТУ, 2008

Правила техники безопасности

При выполнении лабораторных работ каждый студент обязан строго выполнять следующие правила техники безопасности:

1. К проведению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж по безопасным приемам работы в лаборатории с указанием мест расположения выключателей электропитания, огнетушителей, средств оказания первой медицинской помощи пострадавшим, аварийных выходов из помещения. После инструктажа должна быть произведена соответствующая запись в журнале.

2. Перед началом работы необходимо внимательно изучить методическое руководство по проведению лабораторной работы.

3. Подключение лабораторной установки к источнику питания, а также набор, изменение и разборка исследуемой электрической схемы должны выполняться при выключенном внешнем источнике питания.

4. Включать источники питания и лабораторную установку только в присутствии преподавателя или инженера.

5. В случае перерыва в работе лабораторная установка должна отключаться от источников электропитания. Оставлять без надзора установку, находящуюся под напряжением, категорически запрещается.

6. Лабораторную работу выполнять строго в соответствии с методическими указаниями, не допускать превышения напряжения и тока.

7. По окончании работы обесточить все потребители тока, разобрать исследуемую схему, расставить используемые измерительные приборы, оборудование и соединительные провода на место, указанное руководителем занятий.

8. Категорически запрещается пользоваться неисправными приборами и оборудованием, прикасаться руками к оголенным проводам, находящимся под напряжением, устранять обнаруженные неисправности на работающих лабораторных установках.

9. В случае поражения электрическим током или получения травмы немедленно выключить установку, оказать первую помощь пострадавшему на месте и при необходимости вызвать врача.

Лабораторная работа № 1

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Цель работы: ознакомиться с теоретическими основами измерений, широко распространенными контрольно-измерительными приборами, знать их основные технические характеристики и области применения, научиться ими пользоваться.

Общие сведения

Средства измерений представляют собой технические средства, служащие для определения размеров измеряемых величин и имеющие нормированные метрологические свойства. К средствам измерений относятся измерительные приборы, меры, измерительный инструмент и т.д.

Измерительным прибором называют показывающее или записывающее устройство, которое служит для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения.

Измерительные приборы классифицируются по способу получения результатов измерения; по способу отсчета показаний измерения; по характеру применения; по степени точности и т.д.

Результаты измерений, осуществленных измерительными приборами, регистрируются отсчетным устройством. Отсчетные устройства подразделяются на шкальные, цифровые и регистрирующие (печатные или пишущие).

Шкала представляет собой совокупность отметок и чисел, наносимых на циферблат отсчетного устройства, изображающих ряд последовательных значений измеряемой величины. Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется делением шкалы. Ценой деления шкалы называется разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Цена деления равна диапазону измерения A_{\max} , деленному на число n делений шкалы:

$$C = \frac{A_{\max}}{n}.$$

Шкала с делениями постоянной длины и с постоянной ценой деления называется равномерной шкалой. В противном случае шкала считается неравномерной.

Область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, называется диапазоном показаний измерительных приборов. Под показанием измерительного прибора понимается значение величины, определяемое по отсчетному устройству и выраженное в принятых единицах этой величины.

В результате воздействия большого числа различных факторов, возникающих в процессе изготовления, хранения, эксплуатации, показания измерительных приборов обладают погрешностями.

Погрешность, свойственная средству измерений, находящемуся в нормальных условиях применения, называется основной погрешностью. Основная погрешность средств измерений нормируется путем задания пределов допустимой основной погрешности.

Пределы допустимой основной погрешности задаются в виде абсолютной, относительной и приведенной погрешности.

Абсолютной погрешностью прибора называется разность между его показанием и действительным значением измеряемой величины:

$$\Delta A = A - A_d,$$

где A – показание прибора;

A_d – действительное значение измеряемой величины.

Значение величины абсолютной погрешности не позволяет судить о точности измерения, поэтому вводится понятие относительной погрешности.

Под относительной погрешностью понимают выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{A - A_d}{A_d} \cdot 100 \%.$$

В технических условиях на приборы принято указывать приведенную погрешность, под которой понимают выраженное в процен-

тах отношение абсолютной погрешности к верхнему пределу измерения прибора (номинальному значению шкалы) A_{\max} :

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{A - A_{\text{д}}}{A_{\max}} \cdot 100 \% .$$

Класс точности прибора равен наибольшему значению приведенной относительной погрешности в процентах. Приборы непосредственной оценки по степени точности делятся на семь классов: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. На шкале прибора число, указывающее точность, обводится кружком.

Чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальным значением шкалы, тем большую относительную погрешность дает прибор. Следовательно, нужно стремиться к тому, чтобы измеряемая величина имела значение, соответствующее второй половине шкалы.

Отношение углового или линейного перемещения α указателя к изменению измеряемой величины, вызывающей это перемещение, называется чувствительностью прибора:

$$S = \frac{\alpha}{A} .$$

Чувствительность и цена деления – обратные величины, т.е. чем больше чувствительность, тем меньше цена деления.

Нельзя смешивать между собой два различных понятия – чувствительность и точность, так как между ними нет никакой связи.

Положение, в котором показания прибора имеют минимальную погрешность, называется рабочим положением. Приборы всех классов имеют определенное нормальное рабочее положение: горизонтальное, вертикальное или наклонное. В соответствии со стандартом все приборы, предназначенные для работы в определенном положении, имеют на шкале соответствующий знак рабочего положения.

Прибор измерительный комбинированный Ц4317

Прибор комбинированный Ц4317 (Ц4317Т) предназначен для измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного то-

ка синусоидальной формы, сопротивления постоянному току и относительного уровня переменного напряжения.

На лицевой панели измерительного прибора Ц4317 располагаются шкала прибора, зажимы (клеммы) для подключения щупов, переключатель пределов измерения, переключатель рода работ, ручка установки нуля омметра, винт установки нуля шкалы прибора.

Пределы измерения:

- напряжения постоянного тока 100 мВ-0,5-2,5-10-25-50-100-250-500-1000 В;
- напряжения переменного тока 0,5-2,5-10-25-50-100-250-500-1000 В;
- силы постоянного тока 50 мкА-0,5-1-5-10-50 мА – 0,25-1-5 А;
- силы переменного тока 0,25-0,5-1-5-10-50 мА – 0,25-1-5 А;
- сопротивления постоянному току 200 Ом – 3-30-300 кОм-3 МОм;
- относительного уровня переменного напряжения –5...+10 дБ.

Рабочий диапазон температур от 0 до +35 °С, относительная влажность до 80 % (при температуре 25 °С), а для тропического исполнения (Ц4317Т) – от 10 до 45 °С, относительная влажность до 98 % (при температуре +35 °С).

Входное сопротивление прибора при измерении:

- постоянного напряжения – 20000 Ом/В;
- переменного напряжения – 4000 Ом/В.

Падение напряжения на приборе:

- не более 0,65 В на постоянном токе;
- не более 1,5 В на переменном токе.

Прибор соответствует заданным характеристикам практически сразу после включения и независимо от продолжительности работы под любой нагрузкой, не превышающей номинальную. Продолжительность работы омметра ограничивается емкостью электрохимического источника.

Потребление от источника питания и значение тока в измеряемом сопротивлении на пределах 200 Ом-3-30-300 кОм-3 МОм не превышают 15; 7; 0,7; 0,07 мА соответственно.

Защита схемы от электрических перегрузок осуществляется автовыключателем. Если измеряемая величина превышает номинальное значение более чем в 6 раз, происходит выпрямление и усиление сигнала перегрузки. Усиленный сигнал подается на обмотку реле. Реле срабатывает, контакты размыкаются и прибор отключается от

исследуемой цепи. Замыкание контактов осуществляется нажатием на кнопку автовывключателя только после выяснения причины его срабатывания.

Максимальное значение перегрузок силы и напряжения постоянного и переменного тока не должно превышать соответственно 25 А и 2000 В (для пределов 1 А, 5 А и 100 В, 1000 В).

Меры безопасности

При работе с напряжением более 30 В необходимо подключать и отключать прибор при выключенном напряжении в цепи. Запрещается переключатели прибора переключать под током.

Порядок работы с измерительным прибором

Измерение тока и напряжения

Установите переключатель рода работ в положение «—» при измерении на постоянном токе или «~» при измерении на переменном токе, а переключатель пределов измерения – в положение, соответствующее ожидаемому значению измеряемой величины.

Подключите прибор к исследуемой цепи. Отсчет измеряемой величины – по шкале «—» или «~».

Измерение сопротивлений до 200 Ом

Установите переключатель рода работ в положение «ГХ», а переключатель пределов измерения – в положение «Ω». Проводом с наконечниками замкните зажимы прибора накоротко. Ручкой установки нуля омметра установите стрелку на отметку «∞» шкалы «Ω». Если этого сделать не удастся, смените источник питания. Присоедините измеряемое сопротивление к зажиму «*» и гнезду «+Ω». Отсчет – по шкале «Ω» при закороченных зажимах.

Измерение сопротивлений до 300 кОм

Установите переключатель рода работ в положение «ГХ», а переключатель пределов измерения – в положение «кΩ». Подключите провода к зажимам прибора, замкните накоротко. Ручкой установки нуля омметра установите стрелку на нулевую отметку шкалы «кΩ»,

MΩ». Провода разомкните и присоедините измеряемое сопротивление. Отсчет – по шкале «kΩ, MΩ».

Измерение сопротивлений до 3 МОм

Дополнительным источником питания служит наружная батарея напряжением 12...15 В. Батарею подключите к зажиму «*» отрицательным полюсом, а к другому зажиму – положительным плюсом. Переключатель пределов измерения установите в положение «MΩ». Ручкой установки нуля омметра установите стрелку на нулевую отметку шкалы «kΩ, MΩ». Положительный полюс батареи отключите от зажима и между полюсом и зажимом включите измеряемое сопротивление. Отсчет – по шкале «kΩ, MΩ».

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью работы.
2. Изучить универсальный измерительный прибор Ц4317, выполнить эскиз его лицевой панели.
3. Выполнить замеры сопротивления резисторов. Переключатель рода работ установить в положение «гх». Переключатель диапазона установить в положение, наиболее соответствующее номинальному сопротивлению резистора.

Номинальное сопротивление указано на его боковой поверхности:

- в омах – при отсутствии букв;
- в килоомах – если стоит буква «k»;
- в мегаомах – если стоит буква «M».

Буква может стоять между цифрами, тогда она замещает запятую. Величина допуска указывается в процентах от номинального значения. Допуск в 20 % может не указываться.

Занести номинальное сопротивление и величину допуска сопротивления резистора в соответствующий столбец табл. 1.1. Произвести измерение сопротивления. Занести полученное значение в табл. 1.1. Дать заключение о годности резистора, считая, что годным является резистор, измеренное значение сопротивления которого входит в указанный интервал.

4. Замеры по п. 3 выполнить для нескольких резисторов (3...5 шт.).
5. После завершения работы убрать измерительный прибор в коробку, собрать и сложить монтажные провода. Отключить блок пи-

тания от сети. Оформить отчет в соответствии с содержанием. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Таблица 1.1

Измерение сопротивлений

№ измерения	Номинальное сопротивление R_n , допуск %	Измеренное сопротивление R_n	Годность

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Эскиз лицевой панели измерительного прибора Ц4317, его краткая техническая характеристика и правила работы с ним.
3. Результаты измерения сопротивлений.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительный прибор, его назначение, по каким признакам они классифицируются?
2. Определите следующие понятия: абсолютная, относительная и приведенная погрешность, класс точности, чувствительность и рабочее положение прибора, диапазон измерения и цена деления.
3. Назначение и технические характеристики измерительного прибора Ц4317.

Лабораторная работа № 2

ИНДУКЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ

Цель работы: ознакомиться с устройством индукционных датчиков, изучить принцип их действия, научиться экспериментально определять их статические характеристики, изучить область применения этих датчиков.

Общие сведения

Объектом исследований являются индукционные датчики. Индукционный датчик представляет собой электромеханическое устройство, предназначенное для измерения скоростей, ускорений, параметров вибраций механизмов и машин. Индукционные датчики работают на принципе преобразования неэлектрической величины в значение ЭДС индуцирования в обмотке возбуждения (катушке), определяемое зависимостью

$$E = w \frac{d\Phi}{dt},$$

где w – количество витков катушки;

$\frac{d\Phi}{dt}$ – скорость изменения магнитного потока, пропорциональная скорости перемещения катушки датчика, Вб/с.

Большинство индукционных датчиков состоит из двух частей: магнитной системы и сигнальной обмотки. Магнитная система предназначена для создания постоянного или переменного магнитного поля. В сигнальной обмотке индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости перемещения (измеряемой величине).

Все индукционные датчики в зависимости от назначения можно разделить на три группы:

- 1) для измерения скорости линейных и угловых перемещений;
- 2) для измерения параметров вибраций;
- 3) для измерения угловых рассогласований вращающихся валов, роторов и т.д.

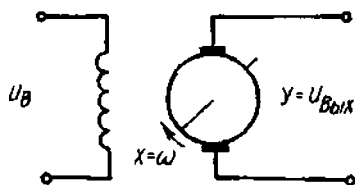
Индукционные датчики первой группы (рис. 2.1) по конструктивным особенностям и принципу действия можно разделить на три подгруппы:

- а) тахогенераторы;
- б) импульсные индукционные датчики;
- в) магнитоиндукционные тахометры (спидометры).

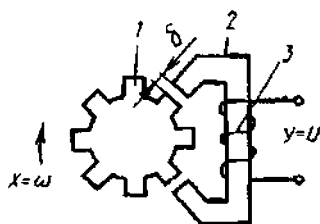
В данной работе рассматриваются два типа индукционных датчиков: тахогенераторы и импульсные датчики.

Тахогенераторы представляют собой малогабаритные генераторы постоянного или переменного тока (рис. 2.1, а), они используются как датчики угловой скорости. Тахогенераторы постоянного тока выполняются с возбуждением в виде постоянных магнитов или независимой обмотки с регулируемой величиной тока. В лабораторной работе исследуется тахогенератор с независимым возбуждением.

а



б



в

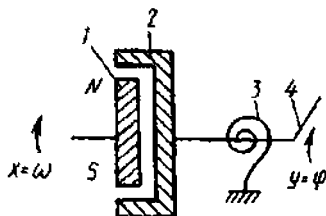


Рис. 2.1. Датчики частоты вращения:

а – тахогенераторный; б – индукционный; в – магнитоиндукционный

Величина магнитного потока регулируется током I_B в обмотке возбуждения, а скорость его изменения – еще и частотой вращения ротора ω :

$$E = k_2 I_B \omega ,$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности.

При подключении к тахогенератору нагрузки, например, показывающего прибора, по обмотке ротора протекает ток. Напряжение на клеммах генератора будет ниже ЭДС на величину его падения на внутреннем сопротивлении обмотки ротора:

$$U_{\text{ТГ}} = E - I_{\text{H}} R_{\text{P}} ,$$

где $U_{\text{ТГ}}$ – напряжение на выводах тахогенератора;

I_{H} – ток нагрузки;

R_{P} – сопротивление обмотки ротора.

Если статор генератора постоянного тока выполнить из материала с малыми потерями на гистерезис, а якорь с обмоткой – с малым омическим сопротивлением, то с достаточной точностью напряжение на выходе тахогенератора $U_{\text{ТГ}}$ определяется по выражению

$$U_{\text{ТГ}} = k_{\text{T}} \omega = k_{\text{T}} \frac{d\varphi}{dt} ,$$

где k_{T} – коэффициент передачи тахогенератора при заданном токе возбуждения I_B ;

φ – угол поворота ротора.

Из приведенного выражения следует, что тахогенератор является идеальным дифференцирующим звеном. Используя свойство обратимости, тахогенератор может быть и интегрирующим звеном (электродвигателем), если на вход его подавать напряжение, а угол поворота вала ротора считать выходной величиной.

Тахогенератор характеризуется следующими параметрами:

$U_{\text{ТГМ}}$ – рабочее напряжение при определенной мощности;

$I_{\text{НМ}}$ – максимальный ток нагрузки;

$\omega_{\text{ТГМ}}$ – максимальная частота вращения ротора;

$I_{\text{ВН}}$ – номинальный ток возбуждения.

Качество тахогенератора как датчика скорости определяется следующими показателями:

$\Delta U_{\text{л}} \%$ – нелинейность скоростной характеристики;

$\Delta U_{I_{\text{я}}} \%$ – зависимость выходного напряжения от изменений тока возбуждения;

$\Delta U_{I_{\text{н}}} \%$ – зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки.

Эти величины определяются по основным характеристикам тахогенератора:

скоростная – зависимость выходного напряжения от скорости вращения якоря;

внешняя – зависимость напряжения на выходе от тока нагрузки при постоянной угловой скорости ротора двигателя и постоянном значении тока возбуждения;

намагничивание – зависимость напряжения на выходе от тока возбуждения при постоянном числе оборотов якоря.

Нелинейность скоростной характеристики определяется по следующей формуле:

$$\Delta U_{\text{л}} \% = \frac{\Delta U_{\text{max}}}{U_{\text{max}}} \cdot 100 \% .$$

Синхронные тахогенераторы (трехфазные) переменного тока имеют ротор в виде постоянного магнита. При его вращении в обмотках статора наводится ЭДС, частота и амплитуда которой пропорциональны частоте вращения объекта. Выходным служит частотный сигнал, который удобно передавать на расстояния, используя частотно-импульсную модуляцию.

Импульсный индукционный датчик (рис. 2.1, б) применяется для измерения скорости линейных и угловых перемещений. Датчик вклю-

чает зубчатый ротор 1, установленный на объекте вращения, постоянный магнит 2 и катушку 3. При вращении ротора зубцы изменяют скорость магнитного потока $\frac{d\phi}{dt}$. В результате ЭДС изменяется пря-

мо пропорционально частоте вращения объекта управления. Датчик является бесконтактным, малогабаритным и применяется для определения частоты вращения колес, валов трансмиссии и двигателя в системах автоматического управления мобильных машин.

Магнитоиндукционные тахометры (спидометры) (рис. 2.1, в) включают вращающийся магнит 1, цилиндрический или дисковый токопроводящий элемент 2, пружину 3, регистрирующее устройство 4. Магнит 1 соединен с ротором объекта и при вращении в нем наводится ЭДС. В результате возникает пропорциональный частоте вращения момент, стремящийся повернуть токопроводящий элемент 2 в направлении вращения магнита. Усилие от момента уравновешивается угловой жесткостью пружины, и регистрирующее устройство 4 поворачивается на фиксированный угол ϕ .

Исследование проводится на установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.2. Установка представляет собой собранную на монтажной плате схему, состоящую из электродвигателя (M) постоянного тока МЭ-230 с рабочим напряжением $U_{дв} = 24$ В и испытующего тахогенератора (ТГ) ТГ-2С ($I_{в} = 0,3$ А; $R_{н} = 2000$ Ом; $U_{тгм} = 51$ В), соединенных между собой муфтой. На выходном валу ТГ установлен зубчатый венец (ЗВ), имеющий 6 зубьев и импульсный датчик (ИД) 15-К-А.

Скорость вращения вала электродвигателя регулируется с помощью реостата $R_{дв}$. Ток $I_{в}$ в обмотке возбуждения $L_{в}$ тахогенератора устанавливается резистором $R_{в}$. Для измерения напряжения на обмотке возбуждения или выходе тахогенератора установлен вольтметр V Ф2001. Переключение вольтметра осуществляется переключателем $П_1$ $U_{об} - U_{як}$. Для измерения угловой скорости с помощью импульсного датчика (ИД) установлен цифровой частотомер (Hz) Ф676. На экране осциллографа (Ос) можно наблюдать форму выходных сигналов ТГ или ИД.

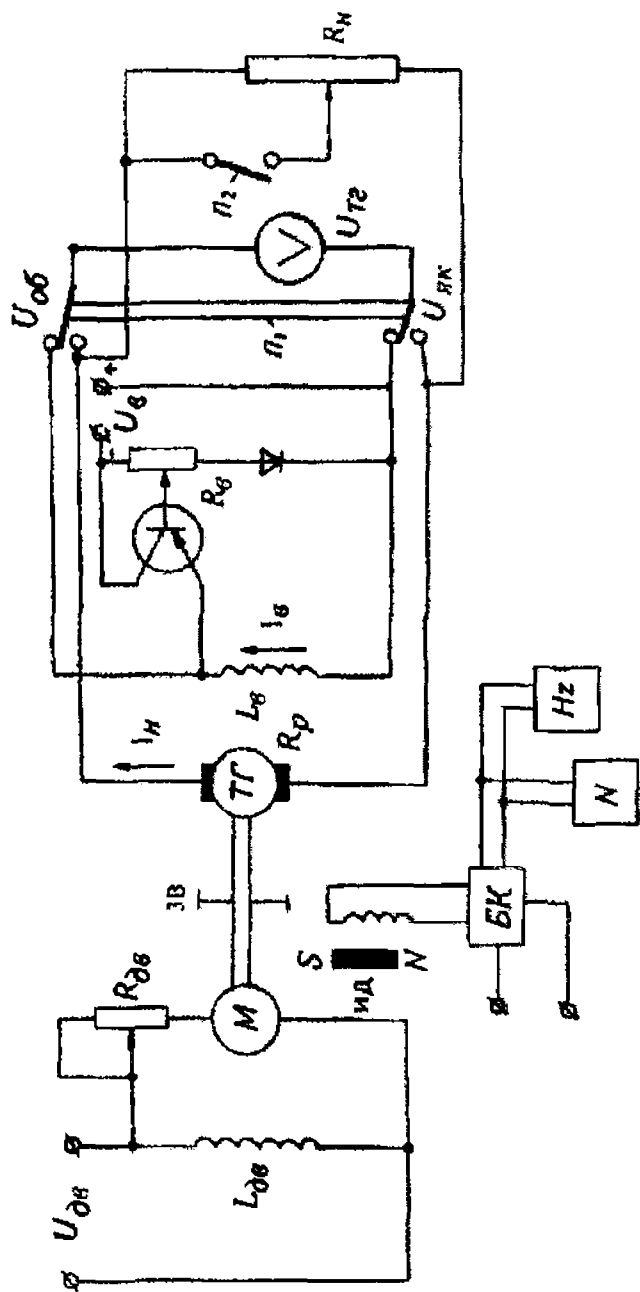


Рис. 2.2. Принципиальная схема установки

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Ознакомиться с приборами и оборудованием.
3. Собрать схему согласно рис. 2.2 и пригласить преподавателя или инженера для проверки правильности сборки.
4. Включить вольтметр, частотомер, осциллограф, затем блок питания схемы. Шкала вольтметра должна соответствовать измеряемому напряжению до 50 В.
5. Установить переключатель Π_2 нагрузки R_H в крайнее левое положение (откл.).
6. Перемещая ползунок реостата $R_{дв}$, установить минимальную угловую скорость вала тахогенератора (30 с^{-1} по частотомеру).
7. Ступенчато, через 20 с^{-1} , увеличивая угловую скорость вала тахогенератора до 250 с^{-1} (2500 об/мин), снимать показания вольтметра и заносить их в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений

$\omega, \text{с}^{-1}$		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
$U_{ТГ}$	R_H													
V	R_H													

8. При помощи переключателя Π_2 по указанию преподавателя изменить величину нагрузки R_H на тахогенераторе и повторить выполнение пункта 5.
9. По окончании снятия данных для построения скоростных характеристик выключить сетевые тумблеры блока питания, вольтметра, частотомера, осциллографа, вилки сетевых проводов вынуть из розеток.
10. По полученным данным построить статические характеристики тахогенератора (рис. 2.3).

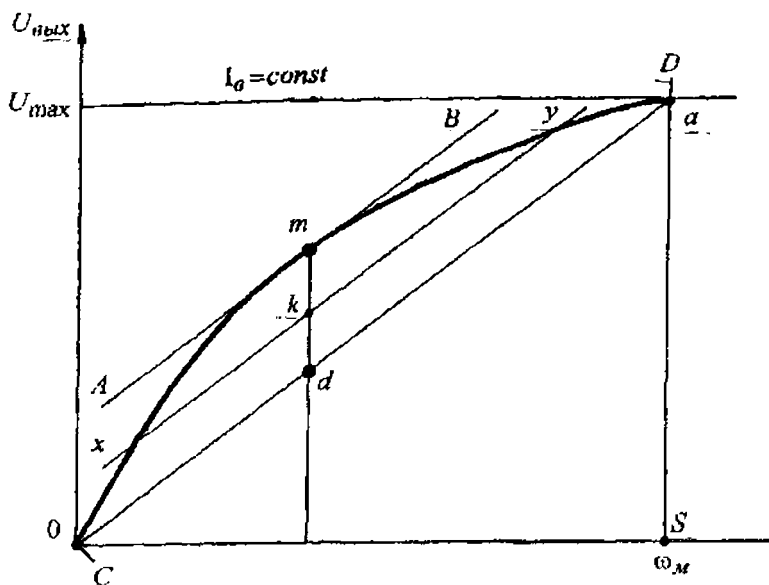


Рис. 2.3. Скоростная характеристика тахогенератора

11. Определить нелинейность скоростной характеристики, используя выражение

$$\Delta U_{\text{н}} = \frac{mk}{as} 100\% ;$$

$$AB \parallel XY \parallel CD, \quad mk = kd.$$

12. Определить величину коэффициента передачи тахогенератора по формуле

$$k_{\text{т}} = \frac{U_{\text{тр}}}{\omega_{\text{max}}},$$

где $U_{\text{тр}}$ – рабочее напряжение на максимальной скорости ω_{max} .

Выводы

В результате выполнения работы необходимо сделать выводы:

- о нелинейности скоростной характеристики тахогенератора при различных значениях нагрузки;
- рабочих участках скоростных характеристик;
- величине коэффициента передачи тахогенератора.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема установки (см. рис. 2.2).
3. Результаты измерений (см. табл. 2.1).
4. Графики скоростных характеристик на миллиметровой бумаге (см. рис. 2.3).
5. Выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

1. Какие датчики называются индукционными?
2. Типы и назначение индукционных датчиков.
3. Какими параметрами характеризуются тахогенераторы?
4. Что представляет собой скоростная характеристика тахогенератора?

Лабораторная работа № 3

ИНДУКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ

Цель работы: ознакомиться с устройством индуктивных датчиков, изучить принцип их действия, научиться экспериментально определять их статические и частотные характеристики, определить рабочие участки выходных характеристик датчика, требуемую частоту и амплитуду входного сигнала блока питания.

Общие сведения

Объектом исследований являются индуктивные датчики. Индуктивным датчиком называется устройство, которое под действием незлектрической величины изменяет индуктивность.

Индуктивные датчики благодаря простоте конструкции и бесконтактному изменению индуктивности получили широкое распространение в системах автоматического управления различными процессами для измерения перемещения поршней золотников, клапанов, как сигнализаторы уровня и расхода жидкости.

В простейшем случае индуктивный датчик представляет собой катушку, индуктивность которой зависит от изменения магнитной проницаемости среды, например, введением в катушку магнитомягкого материала.

При включении катушки в цепь переменного тока сила тока, проходящего через обмотку датчика, определяется по выражению

$$I = U_0 / \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2},$$

где U_0 – переменное напряжение питания, В;

R – активное сопротивление обмотки, Ом;

f – частота напряжения питания, Гц;

L – индуктивность обмотки, Гн.

Обычно индуктивное сопротивление $R_L = 2\pi fL$ значительно больше активного сопротивления R обмотки, поэтому ток в обмотке возбуждения определяется по выражению

$$I = \frac{U_0}{R_2} = \frac{10^9 U_0 x}{2\pi f w^2 A},$$

где x – перемещение якоря катушки;

w – число витков обмотки;

A – площадь двух воздушных зазоров якоря и катушки.

Индуктивность обмотки зависит от ее параметров, материала и положения сердечника в катушке. Индуктивность обмотки определяется выражением

$$L = w \frac{\Phi}{I},$$

где w – число витков обмотки;

Φ – магнитный поток сердечника, Вб.

Индуктивность катушки с сердечником

$$L_c = \mu_c L,$$

где μ_c – эффективная магнитная проницаемость сердечника.

Таким образом, индуктивность катушки зависит от частоты напряжения питания и магнитной проницаемости сердечника.

Некоторые типы индуктивных датчиков (преобразователей) схематически показаны на рис. 3.1. Индуктивный датчик (рис. 3.1, а) с переменным воздушным зазором δ характеризуется нелинейной (близкой к гиперболической) зависимостью $L(\delta)$. Рабочее перемещение в таких датчиках ограничено, диапазон линейности составляет 0,01...10 мм.

Датчик с изменяющейся площадью воздушного зазора приведен на рис. 3.1, б. Такие датчики позволяют измерять перемещения до 15...20 мм.

На рис. 3.1, в изображен датчик с разомкнутой магнитной цепью. Он представляет обмотку 2, намотанную на пластмассовый каркас 1, внутри которого перемещается сердечник 3 из ферромагнитного материала. Перемещение сердечника вызывает изменение индуктив-

ности катушки. Этот датчик применяется для измерения перемещений до 100 мм.

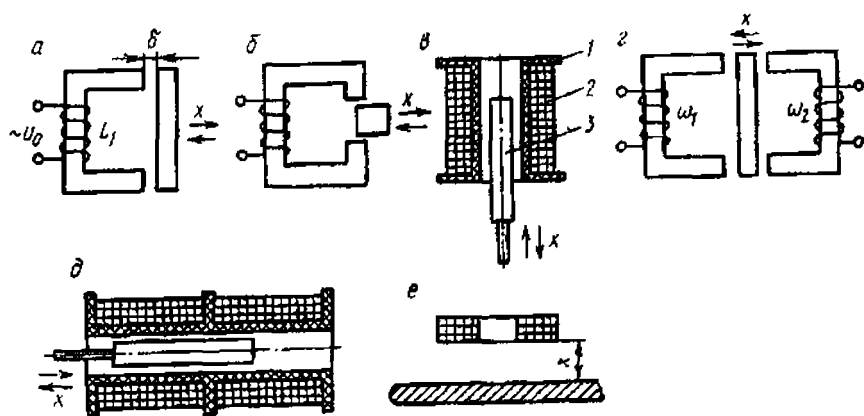


Рис. 3.1. Типы индуктивных датчиков

Широкое распространение на практике получили дифференциальные индуктивные датчики (рис. 3.1, г, д), в которых перемещение подвижного элемента вызывает увеличение индуктивности одной обмотки и уменьшение индуктивности другой.

На рис. 3.1, е показан токовихревой преобразователь, в котором изменение индуктивности катушки происходит вследствие изменения расстояния от нее до проводящего тела.

Индуктивные датчики обладают простой конструкцией, высокой надежностью и чувствительностью (до сотен В/мм), что позволяет использовать их в ряде случаев без усилителя.

Недостатки этих датчиков: необходимо использовать переменное напряжение питания; нестабильность усиления выходного сигнала при передаче его на расстояние, нестабильность коэффициента усиления при изменении частоты генератора.

Исследование проводится на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 3.2. Установка представляет собой собранную на монтажной плате мостовую схему, состоящую из двух катушек индуктивного сопротивления R_{L1} и R_{L2} . В одну из диаго-

налей моста включен цифровой вольтметр V , предназначенный для регистрации напряжения на исследуемом датчике.

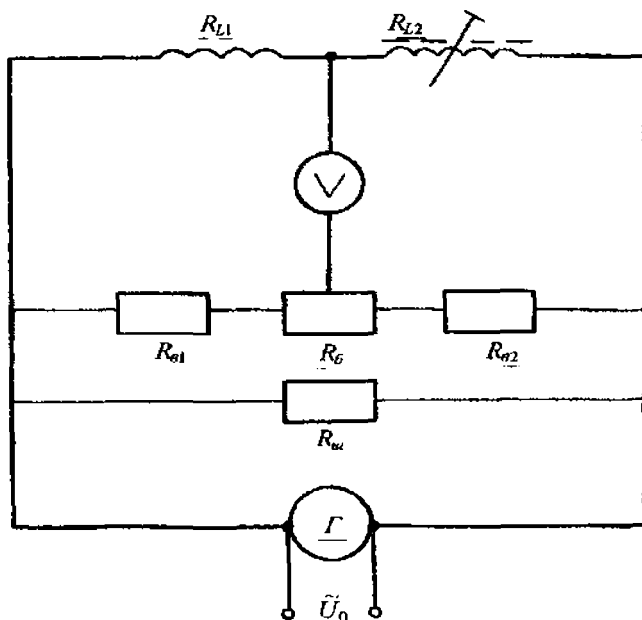


Рис. 3.2. Принципиальная схема установки

Питание мостовой схемы и шунтирующего сопротивления $R_{ш}$ осуществляется от генератора звуковых колебаний Γ . Для уравновешивания моста служит балансировочное сопротивление R_G .

Установка работает следующим образом. При подключении генератора Γ к мостовой схеме на датчики R_{L1} и R_{L2} подается переменное напряжение высокой частоты. Вводя в одну из катушек сердечник из магнитомягкого материала, изменяется индуктивное сопротивление датчика, тем самым нарушается равновесие моста. Разбаланс моста регистрируется с помощью вольтметра V . Изменение индуктивного сопротивления может быть достигнуто и за счет изменения частоты питающего напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Собрать установку согласно рис. 3.2.
2. Установить на генераторе ГЗ-123 с помощью 5 переключателей «частота» по указанию преподавателя частоту питающего напряжения в одном из четырех поддиапазонов, используя табл. 3.1.

Таблица 3.1

Диапазоны частот на генераторе

Под-диапазон	Диапазон частот	Шаг частоты	Положение 5-го переключателя «частота»
1	0...200 Гц	0,1 Гц	
2	200 Гц...2 кГц	1 Гц	
3	2 кГц...20 кГц	10 Гц	
4	20 кГц...299,9 кГц	100 Гц	

Примечание: зажженный светодиод между цифрами 4-х переключателей «частота» соответствует запятой, например, $200*0 \equiv 200,0$.

3. Установить с помощью двух переключателей «напряжение V » амплитуду выходного напряжения по указанию преподавателя (от 2 до 23 В с шагом 1 В).

4. Рукоятки « \angle » плавного регулирования частоты и амплитуды сигнала повернуть в крайние левые положения.

5. Установить переключатели « ΔdB », «нагрузка Ω », «ДУ-МУпр» соответственно в положение «0», «Откл.», «МУпр». Переключатель «ДУ-МУпр» расположен на задней стенке генератора.

6. Подключить провод питания индуктивного датчика к гнезду «0→1» генератора.

7. Установить переключатель на цифровом приборе ВЗ-47 в режим измерения напряжения и положение «10» при выходном сигнале генератора от 2 до 10 В или в положение «100» при выходном сигнале 11...23 В.

8. После проверки правильности сборки схемы преподавателем или инженером вставить сетевые вилки приборов в сеть, включить тумблеры «сеть» в положение «Вкл.».

9. При установке переключателя в положение «10» на вольтметре на цифровом табло зажигаются две цифры после запятой, «100» – одна цифра. На генераторе зажигается светодиод «МУпр».

10. Сбалансировать мостовую схему индуктивного датчика резистором R_6 , добиваясь минимального напряжения на вольтметре.

11. Снять статическую характеристику индуктивного датчика, для чего, поддерживая постоянные амплитуду и частоту на выходе генератора, определить изменения напряжения на выходе схемы от положения стального сердечника № 1 в одной из катушек. Положение стального сердечника h менять с шагом 10 мм. Результаты измерений занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты определения статической характеристики датчика

h , мм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U , В	№ 1										
	№ 2										

12. Повторить измерения согласно пункта 11 ферромагнитного сердечника (№ 2), имеющего большую магнитную проницаемость. Данные измерения занести в табл. 3.2.

13. По данным табл. 3.2 построить статические характеристики датчика, т.е. зависимость напряжения на выходе мостовой схемы от положения сердечника h (рис. 3.3).

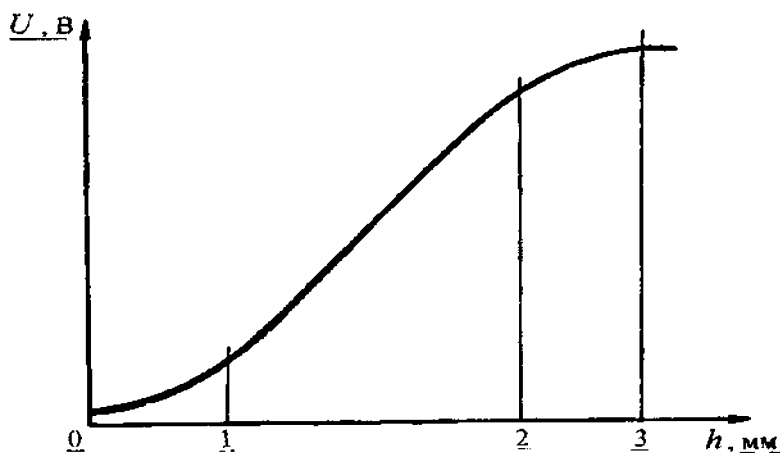


Рис. 3.3. Статическая характеристика датчика

14. Используя статические характеристики датчиков, указать рабочие участки с определением средней чувствительности по напряжению

$$S_n = \frac{\Delta U}{\Delta h},$$

где ΔU – изменение напряжения, В;

Δh – перемещение сердечника, мм.

Пример статической характеристики индуктивного датчика приведен на рис. 3.3. В данном случае график статической характеристики можно разбить на три участка: 0-1 – участок начальной нелинейности, включающий зону нечувствительности; 1-2 – линейный участок характеристики; 2-3 – зона насыщения. В качестве рабочего выбираем участок 1-2, имеющий линейный вид.

15. Для одного из положений стального сердечника (линейный участок) определить амплитудную частотную характеристику. Для чего, поддерживая постоянной амплитуду на выходе генератора, определить изменение напряжения на выходе мостовой схемы от изменения частоты напряжения питания в интервале 0...100000 Гц. Шаг изменения частоты принимать следующий:

- в интервале 0...1000 Гц – 200,0 Гц;
- в интервале 2000...10000 Гц – 2000 Гц;
- в интервале 10000...30000 Гц – 5000 Гц;
- в интервале 40000...100000 Гц – 20000 Гц.

Результаты занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты определения амплитудной частотной характеристики датчика

f , Гц	0	200	400	600	800	1000	...	100000
$\lg f$, дек								
U , В	№ 1							
	№ 2							

16. Повторить измерения для ферритового сердечника (№ 2), данные занести в табл. 3.3.

17. По полученным данным построить амплитудные частотные характеристики датчика (рис. 3.4).

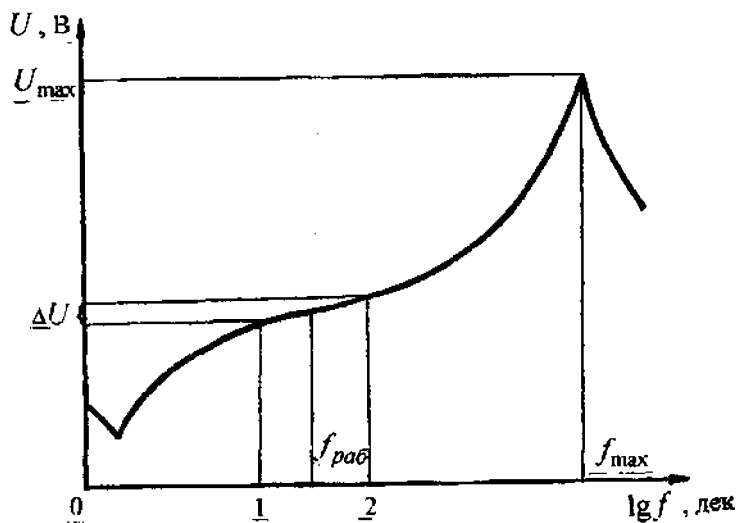


Рис. 3.4. Амплитудная частотная характеристика датчика

18. На основании амплитудных частотных характеристик определить:

– оптимальную (рабочую) частоту питания схемы в предположении минимальных ошибок при ее дрейфе ($f_{\text{раб}}$);

– частоту питания, обеспечивающую максимальную чувствительность схемы (f_{max}).

На рис. 3.4 представлен пример амплитудной частотной характеристики индуктивного датчика.

В качестве оптимальной (рабочей) частоты питания можно назначить частоту $f_{\text{раб}}$, так как при ее увеличении или уменьшении в пределах участка 1-2 изменение выходного напряжения ΔU датчика минимально. Частота питания f_{max} обеспечивает максимальную чувствительность датчика (максимальное выходное напряжение U_{max}).

19. По окончании работ выключить сетевые тумблеры приборов, извлечь вилки из розеток.

Выводы

В результате выполнения работы необходимо сделать выводы:

- о рабочем участке для каждого датчика и обосновать свой выбор;
- рабочей частоте питания схемы;
- частоте питания, обеспечивающей максимальную чувствительность схемы.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема установки.
3. Результаты измерений.
4. Графики характеристик (на миллиметровой бумаге).
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В каких областях техники применяются индуктивные датчики?
2. Какие преимущества и недостатки индуктивных датчиков?
3. Каким образом выбирается рабочий диапазон датчика?
4. Как определить чувствительность датчика?
5. Почему существует оптимальная частота питания схемы, использующей индуктивный датчик, и какая частота назначается при составлении схем?

Лабораторная работа № 4

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Цель работы: ознакомиться с устройством термоэлектрических датчиков (термопар), изучить принцип их действия, способы включения; научиться экспериментально определять их статические и динамические характеристики.

Общие сведения

Термоэлектрическим датчиком (термопарой) называется устройство, преобразующее тепловую энергию в электрическую. Конструктивно термопары представляют собой два электрода, выполненные из разнородных проводников (или полупроводников), концы которых сварены между собой.

Если одни концы проводников подвергнуть нагреву, то в замкнутой цепи потечет электрический ток, величина которого зависит от разности температур спаев. Для измерения температуры один спай помещают в точку измерения, а второй – в точку, относительно которой требуется производить измерения. Температуру, относительно которой производятся измерения, необходимо поддерживать постоянной. Спай термопары, который помещен в зону стабилизированной температуры, называют холодным или свободным концом, а второй спай называют горячим или рабочим концом.

У термопары значение результирующей термоЭДС зависит только от природы проводников и температуры спаев и не зависит от распределения температуры вдоль проводника. Поэтому термоэлектрический контур можно разомкнуть в любом месте и подключить электроизмерительный прибор – милливольтметр. Обычно измерения регистрируют на свободном конце термопары. Создаваемая термопарами ЭДС сравнительно невелика и обычно не превышает 70 мВ, чувствительность составляет 0,01...0,08 мВ/°С.

Термопары позволяют измерять температуру в диапазоне от –200 до +2200 °С. Для измерения температур до 1100 °С используют в основном термопары из неблагородных металлов, для измерения температуры от 1100 °С – термопары из благородных металлов и

сплавов платиновой группы, а для измерения более высоких температур – термопары из жаростойких сплавов на основе вольфрама. Наибольшее распространение получили следующие материалы: платина, платинородий, хромель, алюмель, комель, нихром, констант, железо, медь.

Для материалов термопар предъявляется ряд требований: жаростойкость и механическая прочность; химическая инертность; термоэлектрическая однородность; стабильность; однозначная, желательна близкая к линейной зависимость термоЭДС от температуры; высокая чувствительность.

Диаметр проволоки, идущей на изготовление термопар, выбирают в зависимости от предельного значения измеряемой температуры и скорости ее изменения. Как правило, для измерения высоких температур используют проволоку больших диаметров (до 3 мм). С целью повышения быстродействия термопары используют проволоку диаметром 0,1 мм и меньше.

Для измерения температуры агрессивных сред термопары помещают в защитные кожухи. При этом быстродействие их уменьшается.

Для измерения разности термоЭДС горячего и холодного спаев цепь последнего разрывается и к свободным концам подключается измерительный прибор. Так как термоЭДС очень мала, то для работы с термоэлектрическими преобразователями применяют высокочувствительные приборы: магнитоэлектрические гальванометры, милливольтметры, потенциометры или приборы, имеющие усилители постоянного тока (УПТ). При этом необходимо учитывать, что в месте подключения холодного спаев к измерительному прибору (при разных материалах, соединения) также образуются термоэлементы, термоЭДС которых направлена против термоЭДС горячего спаев. Поэтому холодные спаи должны быть термостатированы, т.е. их температура должна быть постоянной, чтобы не вносить погрешность в производимые измерения.

Пределы измерения или применения термоэлемента определяются по его статической характеристике. Статическая характеристика термоэлемента выражает зависимость изменения термоЭДС U от изменения температуры θ в установившемся режиме. Экспериментально статическую характеристику получают, нагревая термоэлементы до определенной температуры и регистрируя с помощью из-

мерительного прибора установившееся значение термоЭДС. Повторяя эти измерения для различных значений температур, определяют статическую характеристику термоэлемента (рис. 4.1).

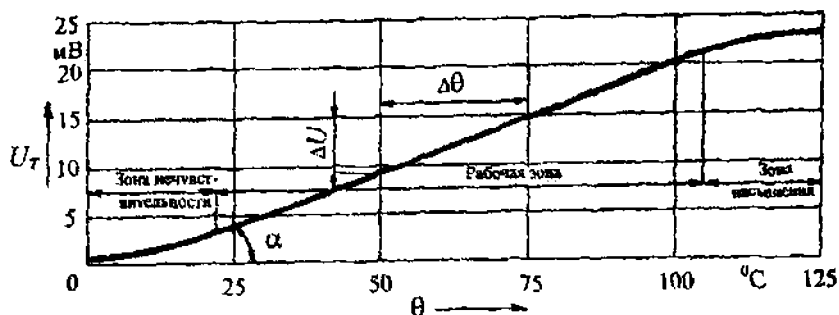


Рис. 4.1. Статическая характеристика термопары

В установившемся режиме зависимость изменения термоЭДС от изменения температуры θ термопары описывается уравнением

$$U = K\theta,$$

где K — постоянная, характеризующая угол наклона прямой к оси абсцисс:

$$K = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta \theta}.$$

Постоянную K называют коэффициентом передачи, коэффициентом усиления или крутизной статической характеристики термопары.

Для описания динамических свойств термопары используют дифференциальные уравнения, частотные и временные характеристики.

Динамическая или временная характеристика термоэлемента представляет собой изменение во времени термоЭДС при мгновенном (ступенчатом) изменении температуры горячего спая. Графическая ее реализация представлена на рис. 4.2.

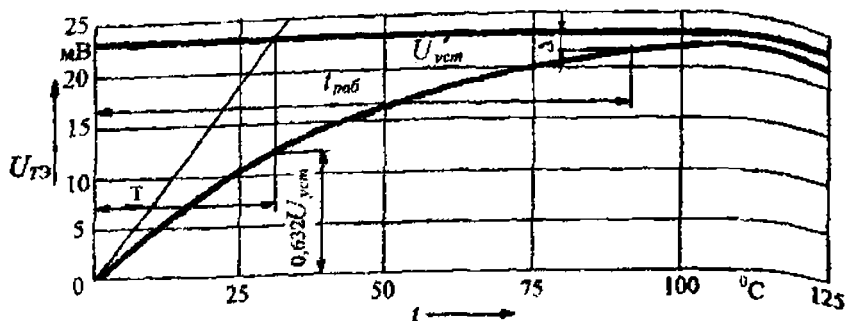


Рис. 4.2. Динамическая характеристика термопары

Термопара представляет собой апериодическое звено 1-го порядка, дифференциальное уравнение которого имеет вид

$$T \frac{dU}{dt} + U = K\theta, \quad (4.1)$$

где T – постоянная времени термопары;

U – текущее значение термоЭДС на выходе термопары;

θ – текущее значение температуры горячего спая.

Передаточная функция термопары

$$W(S) = \frac{K}{TS + 1}. \quad (4.2)$$

Динамическая характеристика термопары является решением дифференциального уравнения (4.1) при ступенчатом входном воздействии

$$U = U_{уст} (1 - e^{-t/T}), \quad (4.3)$$

где t – текущее время переходного процесса.

По динамической экспериментальной характеристике термоэлемента можно определить значения T и K , которые являются постоянными коэффициентами в уравнениях (4.1)–(4.3). Постоянная вре-

мени T определяет инерционность термоэлемента. По величине K определяют чувствительность термоэлемента.

Описание установки

Схема установки для снятия статических и динамических характеристик термопар приведена на рис. 4.3.

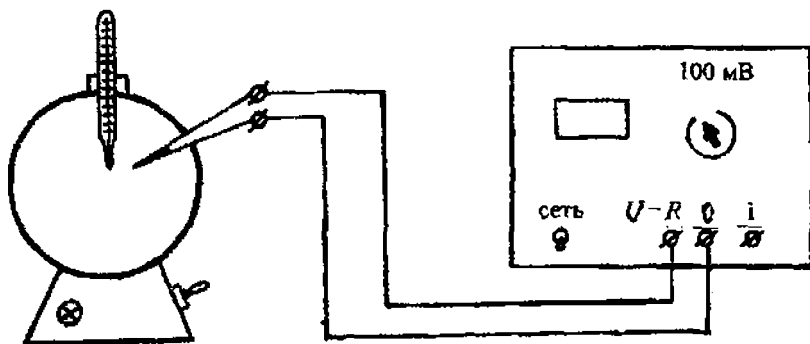


Рис. 4.3. Схема установки для снятия характеристик термопары

Установка включает:

- 1) вольтметр универсальный цифровой В7-27А;
- 2) шкаф сушильный электрический;
- 3) термометр ртутный;
- 4) набор термопар;
- 5) провода монтажные;
- 6) секундомер.

Перед измерениями прогреть вольтметр в течение 10–15 минут, для чего установить тумблер «Сеть» в нижнее положение. Подключить прибор к сети питания (220 В). Установить тумблер «Сеть» в верхнее положение, при этом должны высветиться цифры индикаторного табло.

Для реализации более точных измерений необходимо перед их проведением установить нулевое значение показаний вольтметра. Для этого необходимо:

- замкнуть через измерительные кабели входные гнезда «0» и «И»;
- установить предел измерения 100 мВ;

– установить переменным резистором «0» нулевое показание вольтметра и равновероятное появление знаков «+» и «-». При этом возможно появление на табло единиц младшего разряда.

Для снятия характеристик термопар шкаф на боковой стенке имеет отверстия для установки термоэлементов. Реостат интенсивности нагрева расположен на боковой стенке основания. При проведении экспериментов по снятию характеристик установить движок реостата в положение «Выведен».

На лицевой панели шкафа сушильного расположены тумблер включения сети и индикаторная лампа сигнализации включения сети, термометр ртутный прямого измерения, считывание показаний по шкале термометра.

Порядок выполнения работы

1. Собрать измерительную схему согласно рис. 4.3.

2. Присоединить сушильный шкаф и вольтметр к сети питания 220 В. Установить движок реостата в положение «Выведен». Присоединить термоэлемент к вольтметру. Установить термоэлемент максимально близко к баллончику с ртутью термометра.

3. Включить вольтметр и сушильный шкаф. Через каждые 10 °С снять показания вольтметра. Данные занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Данные для статической характеристики термопары

$\theta, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
U, mV												

Закончить снятие статической характеристики при нагреве сушильного шкафа до температуры 120 °С.

4. Для снятия динамической характеристики термоэлемента необходимо:

а) выключить сушильный шкаф при достижении температуры в нем 120 °С;

б) при снижении температуры в сушильном шкафу ниже 120 °С включить сушильный шкаф;

в) быстро извлечь термоэлемент из сушильного шкафа, включить секундомер, охладить термоэлемент до комнатной температуры, регистрируя показания вольтметра через каждые 10 с. Результаты измерений занести в табл. 4.2.

г) опустить термоэлемент в сушильный шкаф и одновременно включить секундомер. Через каждые 10 с считывать показания вольтметра при нагреве термоэлемента. Результаты измерений занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Данные для динамической характеристики термопары

t, c	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$U, мВ$												
$U, мВ$												

Запись значений динамической характеристики необходимо проводить до получения установившихся показаний вольтметра.

5. По полученным данным построить статическую и динамическую характеристики термоэлементов.

По данным измерений необходимо:

- 1) определить рабочую зону термоэлемента и зоны нелинейности;
- 2) определить величину коэффициента усиления термоэлемента;
- 3) определить среднеквадратичную постоянную времени при различных методах измерения и нескольких опытах (3, ..., 5);
- 4) используя значения K и T , определить теоретическую переходную функцию;
- 5) сравнить полученную экспериментальную и теоретическую переходные функции.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема установки, используемые приборы, описание работы установки.

3. Протоколы замеров.
4. Графики статической и динамической характеристик.
5. Анализ полученных результатов.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется термоэлектрическим преобразователем (ТП)?
2. Назвать область применения ТП.
3. Конструктивное исполнение ТП, применяемые материалы.
4. Какие накладываются условия для обеспечения линейной статической характеристики ТП?
5. Цель и порядок проведения опыта.
6. Обработка результатов опыта.
7. Сущность оценки погрешности.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ САР ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия САР температуры в сушильном шкафу, экспериментально получить переходную характеристику этой САР и произвести оценку качества работы системы.

Общие сведения

В настоящее время в различных производственных процессах, в мобильных машинах, станках, манипуляторах и других машинах широко применяются системы автоматического регулирования рабочей среды. Так, на современных мобильных машинах применяется автоматическое регулирование температуры охлаждающей жидкости, а также автоматическое регулирование температуры масла в системе смазки. При испытаниях двигателей внутреннего сгорания после изготовления и ремонта требуется поддержание определенного температурного режима масла и воды. При сушке различных машин, оборудования и элементов после окраски в сушильных камерах температура должна поддерживаться автоматически в определенных пределах для получения наилучшего качества окрашенных поверхностей. Широко используются автоматические системы регулирования температуры и при термической обработке деталей.

Как и многие другие системы автоматического регулирования, САР температуры имеют много принципиальных и конструктивных схем. Устойчивость является необходимым, но недостаточным условием работоспособности систем автоматического регулирования.

Время затухания переходного процесса, максимальное отклонение регулируемой величины и число колебаний в системе при этом не определяются, однако эти величины являются очень важным показателем качества процесса регулирования.

Оценка качества САР по кривой переходного процесса производится при помощи прямых показателей качества. Обычно рассматривается переходный процесс, возникающий в системе при воздействии единичной ступенчатой функции, т.е. переходная характеристика замкнутой системы (рис. 5.1).

Рассмотрим прямые показатели качества этого процесса:

1. Время регулирования t_p (или время переходного процесса t_n) определяет быстрдействие системы. Под ним понимают минимальное время, по истечении которого регулируемая величина будет оставаться близкой к установившемуся значению $h_{уст}$ с заданной точностью:

$$|h(t) - h_{уст}| \leq \Delta h = h_{уст} \cdot \Delta,$$

где Δ – наперед заданное положительное число. Обычно принимают $\Delta = 0,01 \dots 0,10$, т.е. переходный процесс в САР считается закончившимся, когда $h(t)$ отличается от своего установившегося значения $h_{уст}$ не более чем на $1 \dots 10\%$.

2. Перерегулирование σ – максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения $h_{уст}$, выраженное в относительных единицах или процентах:

$$\sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\%,$$

где $h_{\max 1}$ – значение первого максимума переходной характеристики.

Обычно допустимое значение $\sigma = 10 \dots 30\%$.

3. Частота колебаний

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

где T – период колебаний для колебательных переходных характеристик.

4. Число колебаний n , которое имеет переходная характеристика за время регулирования.

Обычно допускают $n = 1 \dots 2$, иногда $n = 3 \dots 4$, а в отдельных случаях колебания недопустимы.

5. Время достижения первого максимума переходной характеристики t_M .

6. Время нарастания переходного процесса t_n – абсцисса первой точки пересечения кривой переходной характеристики $h(t)$ с уровнем установившегося значения $h_{уст}$.

7. Декремент затухания χ , равный отношению модулей двух смежных переугулирований:

$$\chi = \frac{|h_{\max 1} - h_{уст}|}{|h_{\max 2} - h_{уст}|},$$

где $h_{\max 2}$ – значение второго максимума переходной характеристики.

Оценки качества САР по кривой переходного процесса обладают большой наглядностью. Они позволяют сформировать область допустимых процессов (граница области на рис. 5.1 обозначена штриховкой).

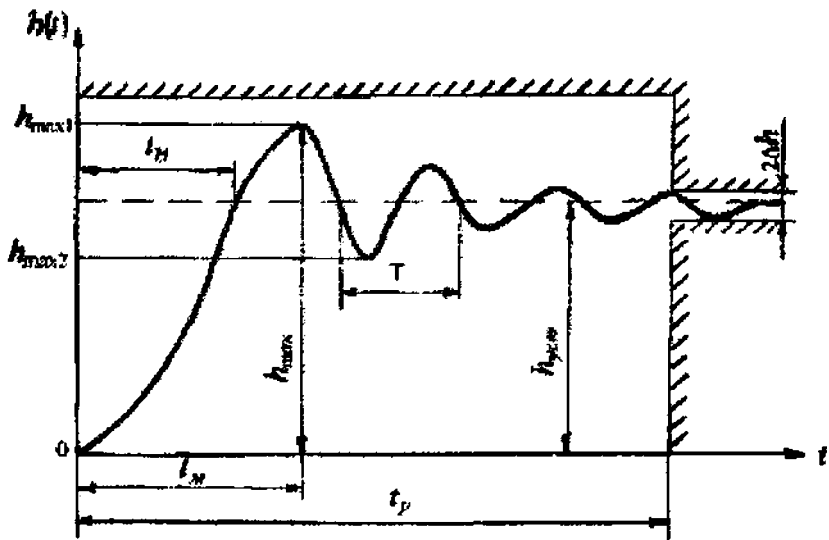


Рис. 5.1. Переходная характеристика замкнутой САР

На рис. 5.2 приведена схема установки для исследования переходной характеристики САР температуры в сушильном электрическом шкафу. В этой системе имеются объект регулирования – сушильный шкаф 6 и автоматический регулятор. Последний состоит из датчика – контактного ртутного термометра 4 с задающим устройством (задатчик) 8, исполнительного элемента электромагнитного реле 3, электронагревателя 7, трансформатора 2, выключателя 1 и конденсаторов С1 и С2.

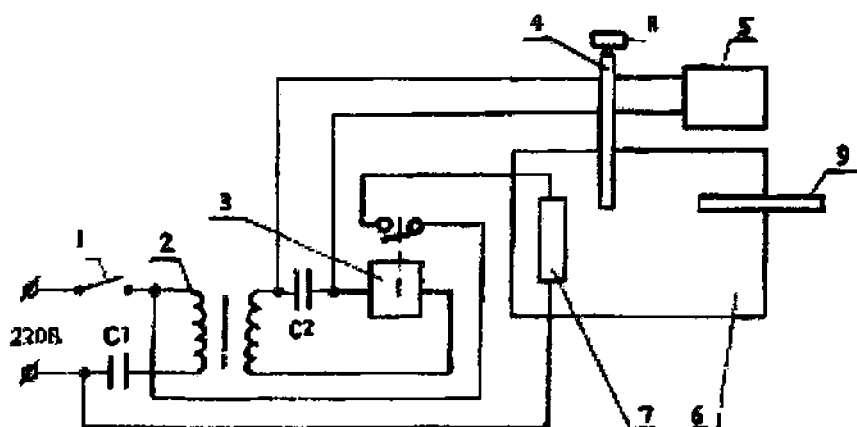


Рис. 5.2. Принципиальная схема установки

САР работает следующим образом. Нагреватель 7, включенный в электрическую сеть напряжением 220 В, повышает температуру в камере сушильного шкафа 6. На изменение температуры в камере реагирует контактный ртутный термометр 4, контакты которого замыкаются ртутным столбиком. С помощью верхнего контакта, перемещаемого винтом задатчика 8, устанавливается заданное значение регулируемой температуры.

Ртутный контактный термометр 4 включен в цепь электромагнитного реле 3, питание которого осуществляется через трансформатор 2. Конденсатор С2 предназначен для сглаживания пульсации тока в контактом ртутном термометре при замыкании контакта.

Когда температура в камере ниже заданного значения, контакт ртутного термометра разомкнут, при этом катушка электромагнит-

ного реле обесточена, а его нормально замкнутый контакт замыкает цепь нагревателя. При достижении температуры в шкафу заданного значения ртутный столбик контактного термометра замыкает цепь «вторичная обмотка трансформатора–катушка электромагнитного реле–контакт ртутного термометра». В результате этого срабатывает реле и размыкает цепь нагревателя. Когда температура опустится ниже заданного значения (опустится ртутный столбик), цепь ртутного термометра разрывается. Катушка электромагнитного реле обесточивается, и контакт реле снова замыкает электрическую цепь нагревателя. В дальнейшем работа системы повторяется циклически. Процесс изменения температуры в сушильном шкафу может регистрироваться на ленту электронного самописца 5. Кроме того, можно фиксировать значения температуры по контрольному термометру 9 через равные промежутки времени.

Порядок выполнения работы

1. Проработать рекомендуемую литературу и инструкцию к лабораторной работе.
2. При помощи задающего устройства 8 ртутного контактного термометра установить определенное значение температуры регулирования (значение указывается преподавателем). Для этого верхний подвижной контакт совмещается с необходимой цифрой на шкале термометра.
3. Собрать схему установки и подготовить к работе электронный самописец. Подготовить протокол наблюдений (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Результаты измерений

$t, \text{с}$										
$\theta, \text{°C}$										

4. Включить систему в сеть и включить автоматический самопишущий потенциометр, одновременно включить секундомер.

5. Через равные промежутки времени (30...60 с) произвести запись показаний ртутного термометра до окончания переходного процесса. Данные наблюдений занести в протокол (см. табл. 5.1). Запись значений переходной характеристики производить до получения значений температуры в шкафу с точностью Δ , указанной преподавателем.

6. По полученным данным построить в масштабе переходную характеристику САР температуры $\theta = f(t)$.

По переходной характеристике САР определить:

- 1) время регулирования t_p ;
- 2) перерегулирование σ ;
- 3) время достижения первого максимума t_M ;
- 4) время нарастания переходного процесса t_N ;
- 5) период колебаний T ;
- 6) частоту колебаний ω ;
- 7) число колебаний n ;
- 8) декремент затухания χ .

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема установки.
3. Протокол наблюдений.
4. График переходной характеристики САР
5. Анализ полученных результатов.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какой принцип регулирования положен в основу работы рассматриваемой САР температуры?
2. По классификационным признакам САР к каким типам рассматриваемая САР относится?
3. Что называется переходной характеристикой САР?
4. Какие основные показатели качества работы САР?
5. Из каких основных элементов состоит САР?

Лабораторная работа № 6

АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В РЕСИВЕРЕ

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия релейных регуляторов давления воздуха в ресивере, определить пороги переключения регулятора в зависимости от регулировки пружины.

Общие сведения

Регулятор давления предназначен для автоматического регулирования давления сжатого воздуха в ресивере, поступающего в него из компрессора.

В зависимости от конструкции и расположения разгрузочного устройства на мобильных машинах получили распространение два способа разгрузки компрессора.

1. При достижении заданного максимального давления p_{\max} в ресиверах нагнетательная полость компрессора с помощью разгрузочного устройства соединяется с выходом в атмосферу (рис. 6.1 и 6.2).

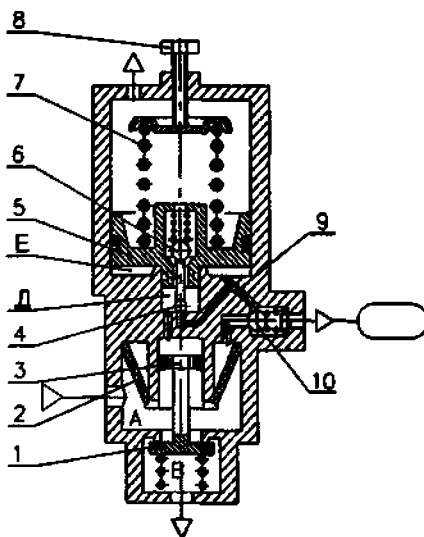


Рис. 6.1. Принципиальная схема регулятора давления воздуха, выполненного в одном корпусе с разгрузочным устройством

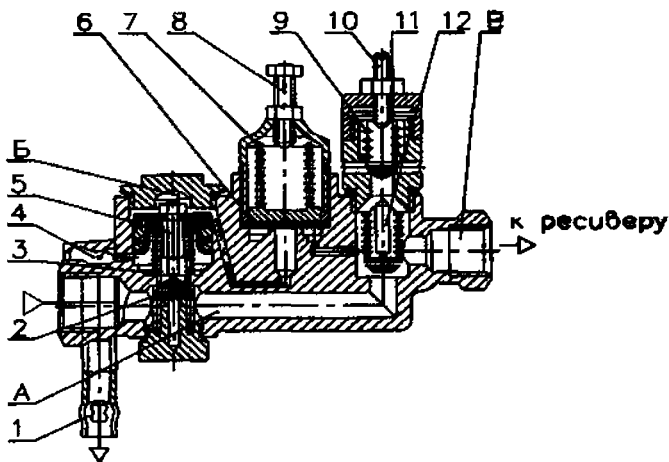


Рис. 6.2. Релейный регулятор давления воздуха со встроенным предохранительным клапаном

2. Компрессор переводится на холостой режим работы путем принудительного открытия впускных клапанов компрессора (рис. 6.3). В этом случае воздух свободно перекачивается из одного цилиндра в другой и обратно. Разгрузочное устройство устанавливается непосредственно в корпусе компрессора. Положительной стороной этого способа являются меньшие степень охлаждения компрессора и засорение входного фильтра на холостом режиме работы.

Имеется ряд конструкций релейных регуляторов давления, размещенных в одном корпусе с разгрузочным устройством, причем такие регуляторы выполняются отдельно от компрессора и могут устанавливаться в пневмосистемы с различными компрессорами. Один из таких регуляторов, применяемый на автомобилях КамАЗ, показан на рис. 6.1.

Сжатый воздух от компрессора поступает в полость А и далее, проникая через фильтр 2, проходит через обратный клапан 10 в по-

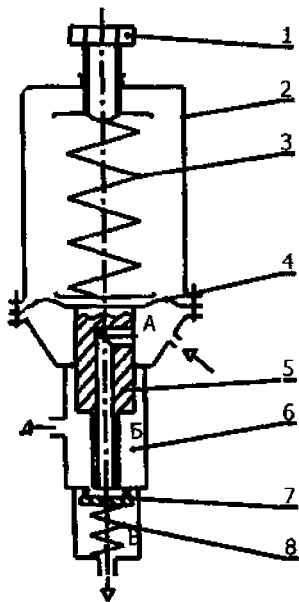


Рис. 6.3. Регулятор давления

лость B , постоянно соединенную с ресивером. Одновременно сжатый воздух может проходить по каналу 9 в подпоршневую полость E . Когда давление в полостях B и E достигнет верхнего предела регулирования P_{\max} , поршень 5 перемещается вверх, при этом сначала закрывается клапан 6 и затем открывается клапан 4 . Сжатый воздух по каналу 9 проходит через полость D в полость Γ и заставляет поршень 3 перемещаться вниз и открыть выпускной клапан 1 . Тогда нагнетательная магистраль компрессора соединяется через полости A и B с выходом в атмосферу – компрессор переводится на холостой режим работы и давление в ресивере начинает снижаться.

Когда давление в ресивере и в полости E уменьшится до нижнего предела регулирования P_{\min} , под действием пружины 7 поршень 5 опустится вниз, закроется клапан 4 и откроется клапан 6 , в результате чего сжатый воздух из полости Γ через полость D и открытый клапан 6 выйдет в атмосферу и клапан 1 под действием пружины закроется. После этого компрессор снова начнет работать под нагрузкой, нагнетая сжатый воздух в ресивер.

Скачкообразное перемещение поршня 5 из нижнего положения в верхнее обеспечивается тем, что при открытии клапана 4 возникает дополнительная движущая сила, равная произведению давления в полости D на площадь поршня, размещаемого в этой полости. Сила пружины 7 может регулироваться с помощью винта 8 . Если площадь клапана 1 несколько больше площади поршня 3 , клапан может служить также и предохранительным клапаном.

Регулятор давления (см. рис. 6.2) фирмы «Кнор-Бремзе» выполнен совместно с разгрузочным устройством и предохранительным клапаном. Сжатый воздух из компрессора поступает в полость A , открывает клапан 12 и проходит через полость B в ресивер. При достижении заданного максимального давления P_{\max} в полости B сжатый воздух, преодолевая сопротивление пружины 7 , отжимает диафрагму 6 от седла корпуса и проходит через канал в корпусе в надпоршневую полость B разгрузочного устройства. Под действием давления воздуха поршень 5 перемещается вниз, преодолевая силу пружины 3 , и открывает клапан 2 , при этом воздух через канал 4 и штуцер 1 выходит в атмосферу.

Когда давление в полости B снижается до нижнего предела регулирования P_{\min} диафрагма 6 садится на седло, прекращая поступле-

ние воздуха в полость *Б*. Воздух, находящийся в полости *Б*, через дроссельное отверстие в поршне 5 (на рисунке не показано) выходит в атмосферу. Тогда поршень 5 под действием возвратной пружины 3 возвращается в первоначальное положение и клапан 2 садится на седло, закрывая выход в атмосферу. Компрессор снова начинает нагнетать сжатый воздух в полость *В*.

Предохранительный клапан 11 предназначен для выпуска сжатого воздуха в атмосферу в случае неисправности регулятора и чрезмерного повышения давления в ресивере. Регулировка пружины 9 осуществляется винтом 10, а пружины 7 – винтом 8.

В полость *А* регулятора (рис. 6.3) из ресивера поступает сжатый воздух, который воздействует на диафрагму 4, на которую с другой стороны действует пружина 3, расположенная в верхнем корпусе 2. При достижении в ресивере пневматической системы, а следовательно, и в полости *А* регулятора заданного максимального давления p_{\max} на пружину действует усилие $F_1 = A_4 p_{\max}$ (где A_4 – активная площадь диафрагмы 4), которое преодолевает усилие пружины, и диафрагма вместе с поршнем 5, расположенным в нижнем корпусе 6, перемещается вверх. В результате этого клапан 7 под действием пружины 8 закрывается (садится на седло) и полость *Б* отсоединяется от полости *В*. При дальнейшем движении поршень 5 отходит от клапана 7 и сжатый воздух поступает из полости *А* через канал в поршне 5 в полость *Б* регулятора и далее в полость разгрузочного устройства компрессора. Поступая в полость разгрузочного устройства, сжатый воздух воздействует на его поршни и открывает впускные клапаны компрессора, переводя его на холостой режим работы. При этом воздух перекачивается из одного цилиндра в другой и обратно без противодействия.

Скачкообразное перемещение диафрагмы 4 и поршня 5 вверх достигается за счет того, что при появлении сжатого воздуха в полости *Б* возникает дополнительная движущая сила $A_5 p_1$, где A_5 – площадь поршня 5; p_1 – давление в полости *Б*. Этим обеспечивается релейное переключение регулятора.

Когда давление в ресивере снижается до значения p_{\min} , сила $(A_4 + A_5) p_{\min}$ станет меньше силы F_3 пружины 3 и, следовательно, начнется перемещение диафрагмы 4 и поршня 5 вниз. В результате

шток поршня 5 садится на клапан 7, открывает его и сжатый воздух из полости *Б* регулятора и полости разгрузочного устройства через полость *В* выходит в атмосферу. Поэтому воздействие на впускные клапаны компрессора снимается и он начнет работать под нагрузкой, подавая сжатый воздух в ресивер.

Релейное переключение регулятора при перемещении поршня 5 вниз и исключение щелевого эффекта обеспечиваются за счет того, что при открытии клапана 7 исчезает дополнительная сила $(A_5 - A_7)p_1$ (сигнал положительной обратной связи).

Максимальное давление воздуха в ресивере p_{\max} пневмосистемы регулируется путем изменения усилия пружины 3 с помощью регулировочного винта 1.

Условие срабатывания (включения) регулятора определяется из уравнения равновесия сил, действующих на диафрагму 4 и поршень 5 в момент отрыва штока поршня 5 от клапана 7, т.е.

$$A_4 p_{\max} \geq F_3 + F_{\text{тр}}, \quad (6.1)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения поршня 5;

F_3 – усилие пружины 3, равное

$$F_3 = c_3 h, \quad (6.2)$$

где c_3 – жесткость пружины 3, Н/м;

h – перемещение пружины 3.

Условием выключения регулятора (ход поршня вниз) является

$$F_3 \geq (A_4 + A_5 - A_7)p_{\min} + F_8 + F_{\text{тр}}, \quad (6.3)$$

где A_7 – площадь клапана 7;

F_8 – сила пружины 8 клапана 7.

Зона нечувствительности регулятора определяется из уравнений (6.1) и (6.3) как разность $\Delta p = p_{\max} - p_{\min}$:

$$\Delta p = \frac{F_3 + F_{\text{тр}}}{A_4} - \frac{(F_3 - F_7 - F_{\text{тр}})}{A_4 + A_5 - A_6}. \quad (6.4)$$

Порядок выполнения работы

1. Проработать рекомендуемую литературу и инструкцию к лабораторной работе.
2. Подготовить табл. 6.1 по форме.

Таблица 6.1

Результаты определения характеристики регулятора

№ п/п	Перемещение винта h , мм	p_{\max} , Н/м ²	p_{\min} , Н/м ²	Δp , Н/м ²

3. По формулам (6.1)...(6.3) определить расчетные значения p_{\max} , p_{\min} и Δp для значений $h = 3 \dots 15$ мм с шагом $\Delta h = 3$ мм.

Для расчета принять $A_4 = 14,2 \cdot 10^{-4}$ м²; $A_5 = 0,786 \cdot 10^{-4}$ м²; $A_7 = 0,126 \cdot 10^{-4}$ м²; $c_3 = 6,5 \cdot 10^4$ Н/м; $F_{\text{тр}} = 30$ Н; $F_8 = 37$ Н.

4. Построить расчетные зависимости p_{\max} , p_{\min} и Δp от h .

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Таблица с расчетными данными и исходные формулы для расчета.
3. График зависимостей p_{\max} , p_{\min} и Δp от перемещения h винта регулятора.
4. Краткие выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы регулятора давления.
2. Назначение регулятора давления воздуха в ресивере.
3. Что такое зона нечувствительности регулятора и от каких параметров она зависит?

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В РЕСИВЕРЕ

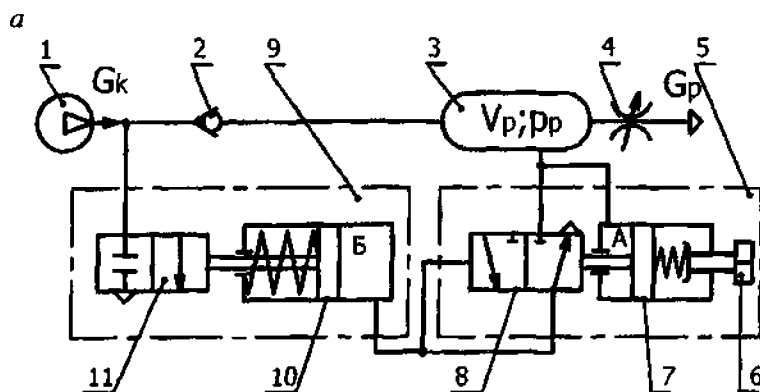
Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия САР давления воздуха в ресивере, разработать функциональную схему ее, составить уравнения движения основных элементов системы, получить уравнение переходной характеристики САР, рассчитать и построить график ее, дать оценку качества системы.

Общие сведения

С целью стабилизации рабочих характеристик пневматических систем управления мобильных и технологических машин давление воздуха в ресиверах питающей части системы должно поддерживаться в заданных пределах. Разница между верхним уровнем регулирования P_{\max} и нижним P_{\min} в различных машинах обычно составляет 0,04... 0,1 МПа. Увеличение этой разности нежелательно, так как получится значительный разброс рабочих характеристик системы. С другой стороны, уменьшение диапазона регулирования давления влечет за собой усложнение конструкции регулятора и увеличение частоты его работы, что также нежелательно.

Общая принципиальная схема САР давления воздуха в ресивере показана на рис. 7.1, а. Эта система является замкнутой и состоит из ресивера 3 (объект регулирования – ОР), релейного регулятора 5, компрессора 1 (регулирующего органа – РО), обратного клапана 2. Релейный регулятор давления содержит чувствительный элемент (ЧЭ) 7, распределитель (Р) 8 и разгрузочное устройство (РУ) 9, в которое входят подпружиненный поршень или диафрагма 10 и клапан 11. Давление воздуха P_p от ресивера 3 передается в полость А чувствительного элемента 7 и действует на подпружиненный поршень (или диафрагму). Когда давление в ресивере достигнет верхнего предела регулирования P_{\max} , подпружиненный поршень чувствительного элемента 7, перемещаясь вправо, открывает клапан распределителя 8 и воздух под давлением поступает к разгрузочно-

му устройству 9. В последнем открывается клапан 11, соединяя нагнетательную магистраль компрессора 1 с выходом в атмосферу. После этого компрессор начинает работать практически без нагрузки (холостой режим). Давление p_{\max} регулируется винтом 6.



б

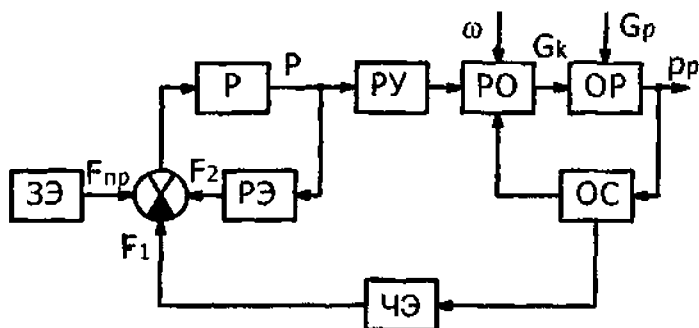


Рис. 7.1. Схемы САР давления воздуха в ресивере:
а – принципиальная; б – функциональная

Расход сжатого воздуха из ресивера G_p осуществляется через управляемый дроссель 4, в качестве которого применяются различные краны пневматической системы управления.

Вследствие расхода воздуха из ресивера 3 давление в нем снижается, и, когда оно достигнет нижнего предела регулирования p_{\min} ,

подпружиненный поршень чувствительного элемента 4, перемещаясь влево, закрывает клапан 5 и полость *B* разгрузочного устройства 8 соединяется с атмосферой. В результате этого компрессор снова переводится в рабочий режим. Сжатый воздух от компрессора 1 через обратный клапан 2 поступает в ресивер 3.

В мобильных машинах с электротягой (троллейбусы, трамваи, электропоезда и др.) устанавливаются электрические реле-регуляторы, которые отключают компрессор, когда давление в ресивере достигает верхнего предела регулирования p_{\max} , и снова включают компрессор в работу, когда давление в ресивере снижается до нижнего предела регулирования p_{\min} .

На функциональной схеме САР (рис. 7.1, б) показано взаимодействие основных элементов системы. Регулируемой величиной является давление воздуха в ресивере p_p , причем ресиверов в системе может быть несколько. На объект регулирования действует внешнее возмущение, представляющее собой мгновенный массовый расход воздуха G_p , затрачиваемого на управление различных потребителей, и регулирующее воздействие G_k , представляющее собой подачу компрессора. САР давления воздуха в ресивере относится к стабилизирующим системам, так как она предназначена для поддержания постоянного значения (в пределах зоны нечувствительности $p_{\max} - p_{\min}$) регулируемой величины p_p . Эта система является существенно нелинейной, так как в ее состав входит релейный регулятор.

Подача компрессора G_k зависит от частоты вращения его вала ω , а также от давления в ресивере p_p . Воздействие давления в ресивере на подачу компрессора на функциональной схеме показано в виде обратной связи (ОС). Расход G_p из ресивера представляет нагрузку на объект регулирования, т.е. является внешним воздействием на него.

Чувствительный элемент предназначен для преобразования регулируемой величины p_p в усилие F_1 , воздействующее на распределитель.

Распределитель предназначен для управления разгрузочным устройством регулятора. Это управление осуществляется чаще всего путем соединения рабочей полости разгрузочного устройства с источником давления, когда необходимо перевести компрессор на холостой режим работы, и последующего соединения этой же рабочей полости с атмосферой, когда регулирующий орган переводится в режим работы под нагрузкой.

Релейный элемент (РЭ) служит для обеспечения скачкообразного перемещения распределителя из одного крайнего положения в другое. Такое перемещение распределителя достигается за счет создания дополнительной движущей силы F_2 с помощью положительной обратной связи. Таким образом, благодаря релейному элементу обеспечивается релейная характеристика регулятора и исключается шелевой эффект.

При рассмотрении динамики САР давления воздуха в ресивере с целью упрощения уравнений движения ее элементов рассматриваем лишь один ресивер соответствующей вместимости; пренебрегаем сопротивлением трубопровода, соединяющего ресивер с релейным регулятором; считаем, что совместная работа компрессора, релейного регулятора и разгрузочного устройства эквивалента работе релейного элемента, входным сигналом которого является регулируемое давление в ресивере p_p , а выходным – регулирующее воздействие G_k .

Уравнение баланса мгновенных массовых расходов воздуха для объекта регулирования (ресивера) имеет вид

$$\frac{V_p}{kRT} \cdot \frac{dp_p}{dt} = G_k - G_p, \quad (7.1)$$

где V_p – объем ресивера, м³;

k – показатель адиабаты, $k = 1,4$;

R – газовая постоянная для воздуха, равная 287 Дж/кг·К;

T – термодинамическая температура воздуха в ресивере, К.

Учитывая, что массовый и объемный расходы воздуха связаны соотношением

$$G = \frac{p_p Q}{RT},$$

уравнение (7.1) можно представить в виде

$$V_p \frac{dp_p}{dt} = kp_p(Q_k - Q_p), \quad (7.2)$$

где Q_k – объемная подача компрессора, м³/с;

Q_p – мгновенный объемный расход воздуха из ресивера, приведенный к давлению p_p , м³/с.

Уравнение компрессора с учетом работы релейного регулятора записывается в виде

$$Q_k = \begin{cases} Q_k(\omega, p_p) & \text{при } p_p < p_{\max} \\ 0 & \text{при } p_p \geq p_{\max} \end{cases} \left. \vphantom{Q_k} \right\} \text{при } \frac{dp_p}{dt} > 0; \\ Q_k = \begin{cases} 0 & \text{при } p_p > p_{\max} \\ Q_k(\omega, p_p) & \text{при } p_p \leq p_{\max} \end{cases} \left. \vphantom{Q_k} \right\} \text{при } \frac{dp_p}{dt} < 0. \quad (7.3)$$

Для исследования этой релейной автоматической системы должны быть заданы конкретные законы изменения подачи компрессора $Q_k(\omega, p_p)$ и расхода воздуха Q_p .

Линеаризованная объемная подача компрессора в зависимости от давления в ресивере определяется по выражению

$$Q_k = Q_{\max} - (Q_{\max} - Q_{\min}) \frac{p_p - p_{\text{нач}}}{p_{\max} - p_{\text{нач}}}, \quad (7.4)$$

где Q_{\max} – максимальная подача при заданном номинальном давлении в ресивере (обычно Q_{\max} задается при $p_{\text{нач}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$);

Q_{\min} – минимальная подача, соответствующая заданному максимальному значению давления p_{\max} (для компрессоров мобильных машин Q_{\min} задается обычно при $p_{\max} = 8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$).

Подставляя выражение для Q_k в уравнение (7.2) при $G_p = 0$, получим уравнение, описывающее наполнение ресивера:

$$\frac{V_p}{k} \cdot \frac{dp_p}{dt} = p_p(a - bp_p), \quad (7.5)$$

где $a = Q_{\max} - [(Q_{\max} - Q_{\min}) / (p_{\max} - p_{\text{нач}})] p_{\text{нач}}$;

$$b = (Q_{\max} - Q_{\min}) / (p_{\max} - p_{\text{нач}}).$$

Решение уравнения (7.5) при начальных условиях $t = 0$ и $p_p = p_{\text{нач}}$ имеет вид

$$t = \frac{V_p}{ka} \ln \frac{(a - bp_{\text{нач}}) p_p}{(a - bp_p) p_{\text{нач}}}. \quad (7.6)$$

По уравнению (7.6) строится кривая ab переходного процесса наполнения ресивера, задавая ряд значений давления в ресивере p_p , и определяется время t_1 наполнения ресивера до давления $p_p = p_{\max}$ (рис. 7.2).

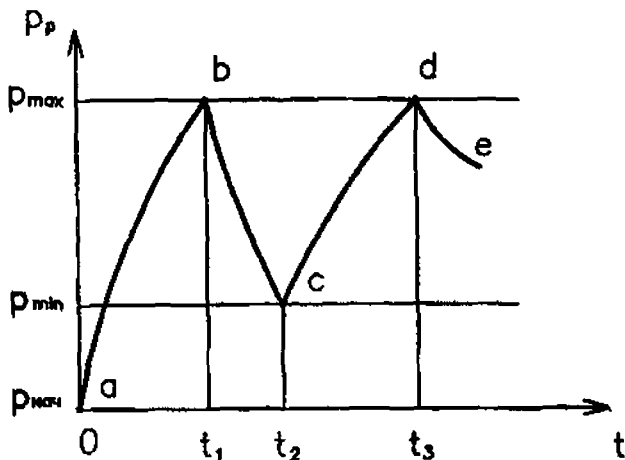


Рис. 7.2. Кривая переходного процесса изменения давления в ресивере

Мгновенный массовый расход воздуха из ресивера Q_p в общем случае выражается случайной функцией времени, зависящей от ряда факторов. В частном случае принимаются типовые законы расхода Q_p : постоянный, линейный, экспоненциальный, гармонический и др.

В точке b компрессор отключается и происходит процесс разрядки ресивера, который описывается уравнением

$$V_p \frac{dp_p}{dt} = -k p_p Q_p. \quad (7.7)$$

В случае $Q_p = Q_{pt} = \text{const}$ имеем

$$\frac{dp_p}{p_p} = -\alpha dt, \quad (7.8)$$

где $\alpha = k Q_{pt} / V_p$.

Решение уравнения (7.8) при начальных условиях $t = t_1$ и $p_p = p_{\max}$ имеет вид

$$p_p = p_{\max} e^{-\alpha(t-t_1)} \quad (7.9)$$

По уравнению (7.9) строится участок bc кривой переходного процесса падения давления в ресивере (см. рис. 7.2).

Время t_2 падения давления в ресивере до величины определяется из уравнения (7.9)

$$t_2 = t_1 + \frac{1}{\alpha} \ln \frac{p_{\max}}{p_{\min}}. \quad (7.10)$$

В точке c включается компрессор, и расчет кривой переходного процесса производится с учетом подачи компрессора Q_k . Тогда

уравнение (7.2) с учетом выражения (7.4) и постоянного расхода $Q_p = Q_{pr} = \text{const}$ записывается в виде

$$\frac{V_p}{k p_p} \cdot \frac{dp_p}{dt} = (a - b p_p) - Q_{pr}. \quad (7.11)$$

Решение уравнения (7.11) при начальном условии $t = t_1 + t_2$ и $p_p = p_{\min}$ имеет вид

$$t = t_1 + t_2 + \frac{V_p}{k(a - Q_{pr})} \ln \frac{[(a - Q_{pr}) - b p_{\min}] p_p}{[(a - p_{pr}) - b p_p] p_{\min}}. \quad (7.12)$$

Порядок выполнения работы

1. Проработать рекомендуемую литературу и инструкцию к лабораторной работе.

2. Для расчета кривой переходного процесса принять

$p_{\max} = 8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $p_{\text{нач}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $p_{\min} = 7 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $k = 1,4$;
 $V_p = 84 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $Q_{pr} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\max} = 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\min} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

3. Определить параметры a и b для подачи компрессора Q_k .

4. По выражению (7.6) определить время t_1 наполнения ресивера до давления $p_p = p_{\max}$, а затем, задавая ряд значений p_p в интервале от $p_{\text{нач}}$ до p_{\max} , рассчитать участок ab кривой переходного процесса изменения давления в ресивере.

5. По уравнению (7.9) рассчитать участок bc кривой переходного процесса, изменяя с определенным шагом время t .

6. По выражению (7.10) определить время t_2 и далее по уравнению (7.12) рассчитать участок cd кривой переходного процесса, изменяя давление p_p в интервале от p_{\min} до p_{\max} .

7. По данным расчета построить кривую переходного процесса изменения давления в ресивере и дать оценку качества системы регулирования.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная и функциональная схемы САР.
3. Результаты расчета и кривая переходного процесса.

Контрольные вопросы

1. Назначение САР и ее классификационные признаки.
2. Основные функциональные элементы САР и их назначение.
3. Принцип действия САР.
4. Метод расчета кривой переходного процесса.

ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Цель работы: изучить принцип действия и конструкцию основных функциональных элементов противоблокировочной тормозной системы мобильных машин, разработать ее функциональную схему.

Общие сведения

Блокировка колес при торможении (движение колес юзом) нежелательна по следующим причинам: нарушается устойчивость движения мобильной машины при торможении; снижается срок службы шин вследствие прогрессирующего износа; снижается эффективность торможения.

Для повышения тормозных качеств мобильных машин и особенно автомобилей и автопоездов, имеющих высокие скоростные качества, начинают применяться автоматические противоблокировочные системы (ПБС). Назначением ПБС является устранение блокирования колес автомобиля при торможении, по крайней мере длительного блокирования (задача-минимум), а также автоматическое определение и поддержание режима торможения с оптимальным (близким к максимальному) коэффициентом сцепления в имеющихся условиях торможения (задача-максимум).

При торможении колеса к нему подводится тормозной момент M_T , создаваемый тормозным механизмом и препятствующий вращению колеса. На колесо также действует момент сцепления M_ϕ , возникающий в результате взаимодействия колеса с дорогой и стремящийся поддерживать вращение. Уравнение движения колеса в тормозном режиме имеет вид

$$I_k \frac{d\omega_k}{dt} = M_T - M_\phi,$$

где I_k — момент инерции колеса;

ω_k — угловая скорость колеса.

При условии $M_{\tau} - \frac{I_k d\omega_k}{dt} > M_{\varphi}$ наступает блокировка колеса и оно начинает скользить по поверхности дороги.

Во время торможения колеса вследствие деформации шины имеет место упругое скольжение его в тангенциальном направлении. Степень скольжения характеризуется коэффициентом скольжения, который определяется по формуле

$$\sigma = \frac{v_a - \omega_k r_d}{v_a},$$

где v_a – поступательная скорость колеса, равная скорости автомобиля;
 r_d – динамический радиус колеса.

Момент сцепления определяется по выражению

$$M_{\varphi} = \varphi R_z r_d,$$

где φ – коэффициент сцепления колеса с дорогой в продольном направлении;

R_z – нормальная составляющая реакции дороги на колесо.

Коэффициент сцепления φ зависит от коэффициента скольжения, т.е. $\varphi(\sigma)$. Следовательно, характер изменения момента сцепления M_{φ} определяется характером кривых $\varphi(\sigma)$ (рис. 8.1, а).

В свою очередь, характер кривых $\varphi(\sigma)$ зависит от многих факторов, основными из которых являются тип и состояние дорожного покрытия, конструкция и состояние шины, скорость движения машины, нагрузка на колесо. Кривые $\varphi(\sigma)$ имеют максимум обычно при $\sigma = 0,1 \dots 0,3$, а следовательно, при этих значениях φ момент M_{φ} сцепления шины с дорогой будет максимальным. Коэффициент скольжения, при котором коэффициент сцепления φ наибольший (φ_{\max}), назовем критическим и обозначим $\sigma_{\text{кр}}$. Момент сцепления в этом случае обозначим $M_{\varphi \max}$.

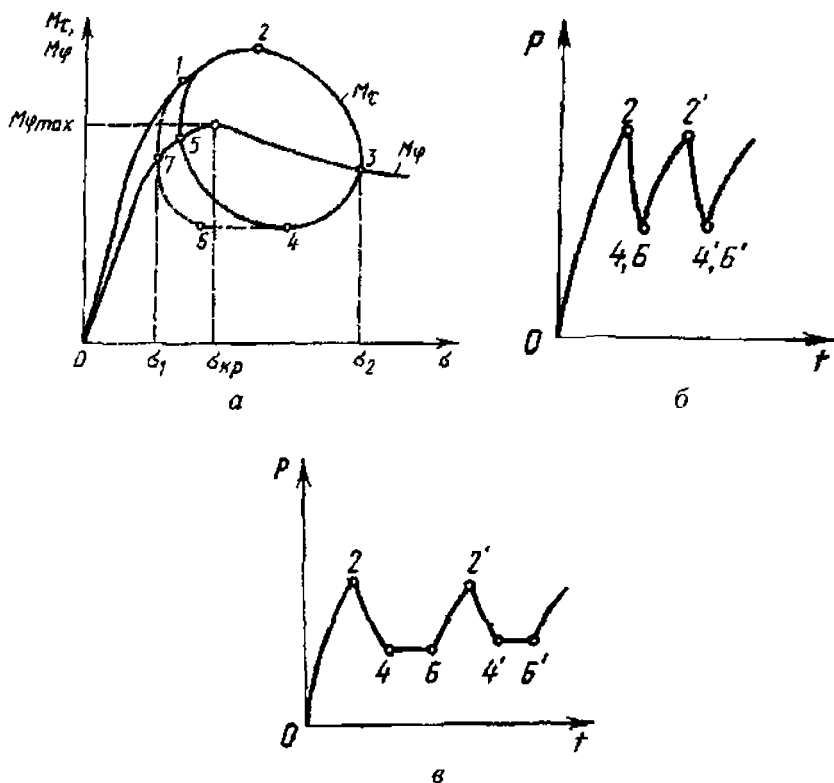


Рис. 8.1. Графики, иллюстрирующие принцип действия ПБС:
 а – зависимости $M_\tau(\sigma)$ и $M_\phi(\sigma)$; б – динамическая характеристика двухфазной ПБС;
 в – динамическая характеристика трехфазной ПБС

Рассмотрим общий характер работы ПБС (см. рис. 8.1, а). По мере нажатия на тормозную педаль нарастает давление p в исполнительных элементах тормозного привода (рис. 8.1, б, в), что приводит к росту тормозного момента M_τ (см. рис. 8.1, а), а следовательно, к росту замедления колеса и его скольжения. На участке 0-1 имеет место упругая деформация шины. После прохождения точки 1 замедление колеса и его скольжение начинают интенсивно нарастать, что приводит к нестабильному режиму работы колеса. В точке 2 срабатывает ПБС, при этом давление рабочей среды в исполнитель-

ном элементе привода начинает падать и соответственно снижается тормозной момент M_{τ} (фаза автоматического оттормаживания).

В момент времени, соответствующий точке 3, $M_{\tau} = M_{\phi}$ и замедление колеса равно нулю. В точке 4 ПБС выдает новый управляющий сигнал, по которому либо начинается повторное нарастание давления и тормозной силы (линия 4-5-2) (фаза автоматического затормаживания), либо обеспечивается фаза выдержки (линия 4-6) с последующим нарастанием тормозной силы (линия 6-7-2). Далее цикл повторяется, причем замкнутая кривая 2-3-4-5-2 (или 2-3-4-6-7-2) в последующих циклах может несколько отклоняться от предыдущих кривых.

Угловая скорость колеса в процессе автоматического торможения изменяется в соответствии с алгоритмом функционирования ПБС, т.е. колесо поочередно то замедляет свое вращение, то разгоняется. Чем совершеннее и точнее ПБС, тем ближе значения σ_1 и σ_2 к значению $\sigma_{кр}$ и, следовательно, тем уже регулируемый диапазон скольжения колеса, а среднее значение используемого коэффициента сцепления колеса с дорогой будет близко к максимальной величине Φ_{max} .

ПБС представляет собой замкнутую САР (рис. 8.2), как правило, с релейным регулированием. Она состоит из объекта регулирования 5, которым является колесо мобильной машины, тормозного механизма 4, исполнительного элемента тормозного привода 3 (тормозная камера или цилиндр) и автоматического регулятора, в который входят датчик угловой скорости колеса 6, управляющее устройство 7 (электронно-регулирующий блок – ЭРБ) и исполнительный орган 2 (модулятор). Задающее воздействие, представляющее давление p_k рабочей среды на входе в САР, создает водитель, прикладывая с помощью тормозной педали усилие F_B к органу управления 1 (тормозной кран, главный тормозной цилиндр).

По форме обработки и представления информации ПБС подразделяются на аналоговые, цифровые и комбинированные. Цифровые ПБС имеют ряд преимуществ.

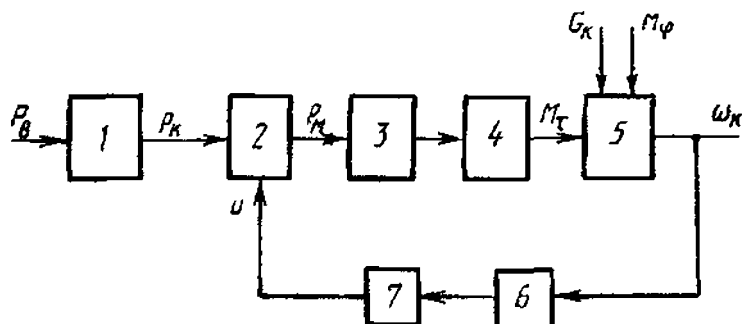


Рис. 8.2. Функциональная схема ПБС

В зависимости от закона управления давлением в тормозных камерах или цилиндрах ПБС делятся на двухфазные, трехфазные и многофазные. В двухфазных (см. рис. 8.1, б) имеется фаза автоматического оттормаживания и фаза автоматического затормаживания. В трехфазных ПБС (см. рис. 8.1, в) вводится еще фаза выдержки или медленного изменения давления после фазы оттормаживания. В многофазных ПБС применяются более сложные законы управления давлением в исполнительных элементах тормозного механизма (например, дополнительно к трехфазовому режиму – еще фаза выдержки после фазы затормаживания и др.). Трехфазное и многофазное управление по сравнению с двухфазным существенно повышает качество регулирования.

По количеству входных сигналов ПБС бывают одно- и многоканальные. В первых входным сигналом является угловая скорость колеса ω_k (либо ее производная) или скорость автомобиля v_a (или ее производная). В многосигнальных ПБС входными сигналами являются комбинации указанных сигналов односигнальных ПБС, причем эти комбинации нередко включают в себя дополнительно другие сигналы, например, давление рабочей среды в исполнительных элементах привода, нагрузку на мост автомобиля.

Наибольшее практическое применение на современных ПБС нашли индукционные датчики генераторного типа. Их характеристики в значительной мере зависят от зазора между ротором и статором.

Абсолютное большинство ПБС содержит электронные управляющие устройства – ЭРБ. ЭРБ выполняет следующие основные функции: обрабатывает входную информацию, характеризующую поведение од-

ного или несколько затормаживаемых колес; управляет одним или несколькими исполнительными органами (модуляторами давления) в соответствии с входной информацией и заданным алгоритмом функционирования; контролирует исправность элементов ПБС; отключает ПБС в случае ее неисправности, переводит систему в режим обычного торможения с оповещением водителя об отключении ПБС.

Модуляторы давления предназначены для управления давлением в тормозных камерах или цилиндрах в соответствии с электрическими сигналами, поступающими в модулятор от ЭРБ. Примером трехфазного модулятора может служить модулятор, выполненный на базе пневматического ускорительного клапана (рис. 8.3, а). Когда электромагниты 1 и 2, подключенные к ЭРБ, обесточены, воздух под давлением проходит по магистрали 5 от тормозного крана (или другого управляющего клапана) в надпоршневую полость А. Под действием давления в полости А поршень 6 перемещается вниз и открывает клапан 7, после чего сжатый воздух по магистрали 8 поступает от ресивера в магистраль 9 и далее к тормозным камерам 10. Ускорительный клапан, состоящий из поршня 6 и двухконтактного клапана 7, является следящим (с отрицательной обратной связью), поэтому давление в камерах 10 устанавливается примерно равным давлению в управляющей магистрали 5 и полости А.

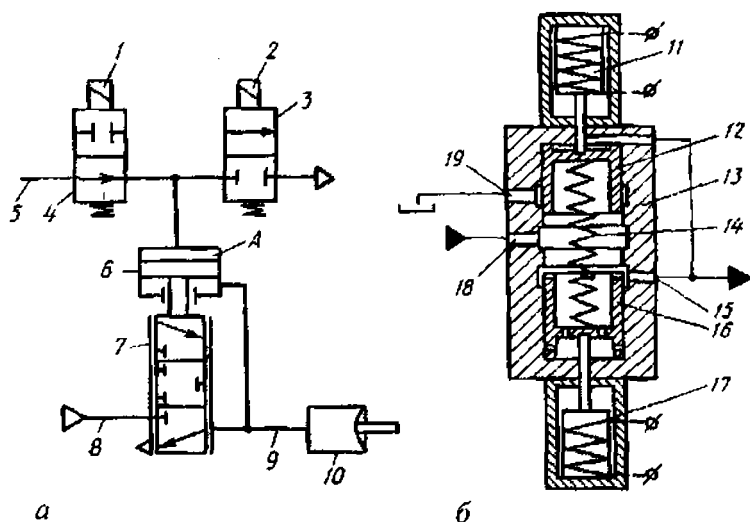


Рис. 8.3. Принципиальные схемы трехфазных модуляторов: а — пневматического; б — гидравлического

При работе ПБС первоначально поступают одновременно сигналы на оба электромагнита 1 и 2, при этом клапан 4 закрывается, а клапан 3 открывается, и в результате сжатый воздух из полости А выходит через открытый клапан 3 в атмосферу – происходит падение давления в тормозных камерах 10 (фаза автоматического оттормаживания). При закрытии клапана 3, когда снимается напряжение с электромагнита 2, давление в полости А и в тормозных камерах 10 остается без изменения (фаза выдержки). Далее в результате снятия напряжения с электромагнита 1 открывается клапан 4 и начинается фаза автоматического затормаживания – давление в полости А и в тормозных камерах 10 повышается. Затем цикл повторяется. Если фазы выдержки нет, получится двухфазный режим работы модулятора. Модуляторы, работающие только в двухфазном режиме, управляются одним электромагнитом.

На рис. 8.3, б приведена схема гидравлического золотникового модулятора, предназначенного для гидравлических насосно-аккумуляторных тормозных систем (типа БелАЗ). Модулятор имеет два золотника 12 и 16, расположенных в корпусе 13, управляется модулятор электромагнитами 11 и 17.

В исходном положении золотник 16 под действием пружины 14 находится в крайнем нижнем, а золотник 12 – в крайнем верхнем положении. В этом случае магистраль 18, соединенная с тормозным краном, сообщается с магистралью 15 и через нее с гидроцилиндрами тормозных механизмов. Сливная магистраль 19 перекрыта золотником 12. Жидкость от тормозного крана может беспрепятственно протекать по каналам 18 и 15 к тормозным механизмам и обратно.

Если же наступает блокирование тормозящегося колеса и, следовательно, большое угловое его замедление, ЭРБ на основе поступившей в него информации от датчика мгновенно подает электрический сигнал на электромагнит 11. Последний посредством штока скачкообразно перемещает золотник 12 в нижнее положение до упора в выступы золотника 16. При этом магистраль 18 отсоединяется от магистрали 15, а последняя соединяется со сливной магистралью 19 – происходит автоматическое растормаживание колеса.

При малом угловом ускорении колеса ЭРБ снимает напряжение с электромагнита 11 и подает напряжение на электромагнит 17, вследствие чего посредством штока золотник 16 перемещается в верхнее положение, а золотник 12 возвращается в исходное поло-

жение. В этом случае обеспечивается фаза выдержки, так как каналы 16, 18 и 19 отсоединены друг от друга. При значительном угловом ускорении колеса снимается напряжение с электромагнита 17, золотник под действием пружины 14 возвращается в нижнее исходное положение и осуществляется фаза повторного автоматического затормаживания колеса. Далее цикл повторяется.

Датчики и модуляторы могут различным образом располагаться на автомобиле, образуя схему установки ПБС. Она в значительной мере влияет на эффективность торможения, устойчивость и управляемость автомобиля. Рассмотрим основные схемы установки ПБС.

1. Датчик и модулятор устанавливаются на каждое колесо.

2. Датчики устанавливаются на всех колесах; на переднем мосту модуляторы устанавливаются на каждое колесо, а на заднем мосту – один общий модулятор. При этом регулирование тормозного момента задних колес может осуществляться либо по сигналу от колеса, находящегося в наихудших условиях по сцеплению, т.е. блокируется первым, либо по сигналу от колеса, находящегося в наилучших условиях.

3. Датчики устанавливаются на всех колесах, а на передние колеса – один модулятор. Регулирование тормозного момента на передних колесах осуществляется как и в предыдущей схеме.

4. Датчики устанавливаются на всех колесах, а модуляторы – по одному на мост.

5. На колесах заднего моста устанавливаются два датчика и один модулятор.

6. На колесах заднего моста устанавливаются один датчик и один модулятор.

Регулирование тормозного момента в последних трех схемах осуществляется по сигналам от колес, блокируемых первыми.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы противоблокировочных тормозных систем мобильных машин.

2. Разработать функциональную схему ПБС.

3. Изучить конструкцию модуляторов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Функциональная схема ПБС.
3. График зависимостей $M_{\tau}(\sigma)$ и $M_{\phi}(\sigma)$.
4. Конструктивные схемы модуляторов (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Назначение ПБС.
2. Основные функциональные элементы ПБС и их назначение.
3. Принцип действия ПБС.
4. Типы модуляторов.
5. Схемы установки датчиков и модуляторов.
6. Уравнение движения колеса в тормозном режиме.
7. Коэффициент сцепления шины с дорогой.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ СЕЛЬСИННОЙ СИНХРОННОЙ СВЯЗИ

Цель работы: ознакомиться с назначением, устройством, принципом действия и практическим применением системы сельсинной синхронной связи.

Экспериментально определить статические характеристики сельсинных схем и проанализировать полученные результаты.

Общие сведения

В системах автоматического управления и регулирования часто возникает необходимость осуществлять синхронное перемещение двух элементов, разобщенных пространственно и не связанных между собой механически. Для этой цели используются специальные устройства, называемые системами синхронной связи: системы поступательного движения и системы вращательного движения. Наибольшее практическое применение получила вторая система, основанная на использовании сельсинов.

В автоматике и телемеханике сельсины наиболее широко применяются в качестве измерительных устройств САР для определения угловых рассогласований между входом и выходом. Измерительные схемы на сельсинах, выполненные по типу угол рассогласования – фаза – код, обладают высокой точностью и удобны для соединения с микроЭВМ.

Сельсин – индукционный датчик, выполненный в виде миниатюрной электрической машины переменного тока, имеющий обмотки как на статоре, так и на роторе (рис. 9.1). Одна из этих обмоток выполняется однофазной 4, а другая – трехфазной 1, 2, 3. Могут быть два типа исполнения сельсинов. При первом исполнении на статоре помещается однофазная обмотка, а на роторе – трехфазная (см. рис. 9.1). При втором исполнении, наоборот, – статор трехфазный, а ротор однофазный.

Однофазная обмотка подключается в сеть переменного тока и называется первичной обмоткой или обмоткой возбуждения. В ней создается пульсирующий магнитный поток возбуждения. Трехфаз-

ная обмотка называется вторичной обмоткой или обмоткой синхронизации. Она представляет собой систему из трех одинаковых обмоток, уложенных симметрично одна относительно другой (со смещением на угол 120°) и соединенных звездой, т.е. концы обмоток спаяны в один общий. Индуцируемые в этих обмотках ЭДС и токи имеют одну и ту же временную фазу.

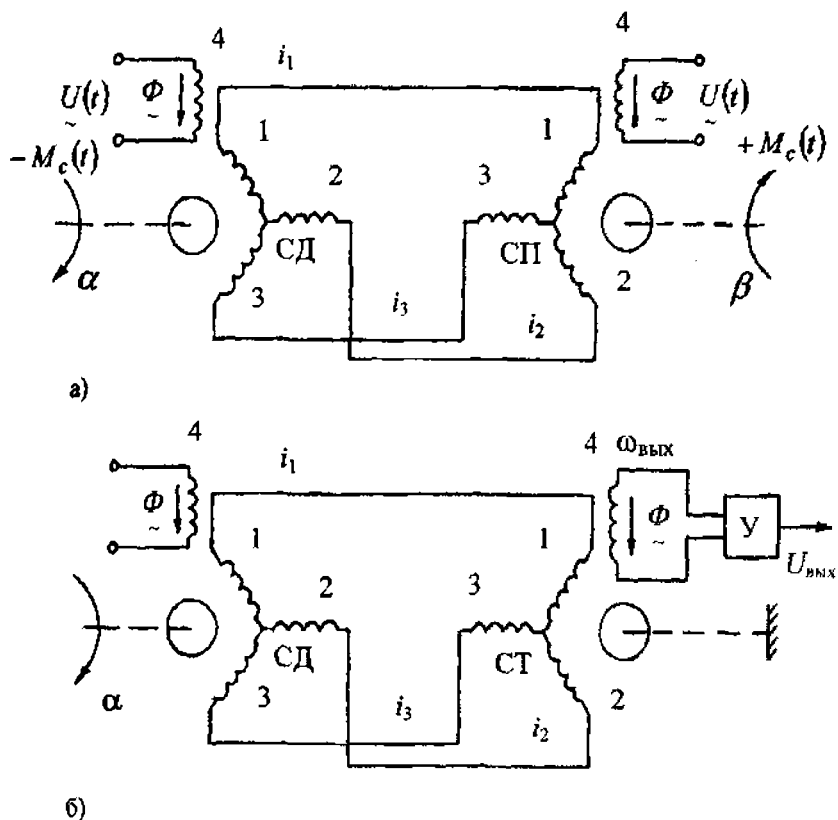


Рис. 9.1. Схемы соединения сельсинов:
 а – индикаторный режим; б – трансформаторный режим

Сельсинная система состоит из двух сельсинов, первичные обмотки которых подключаются к питающей сети, а вторичные соединяются между собой.

В зависимости от выполняемой функции одна из машин системы называется сельсином-датчиком (СД), а другая – сельсином-прием-

ником (СП). Сельсин-приемник отличается от сельсина-датчика наличием фрикционного демпфера, предназначенного для уменьшения времени успокоения, а также классом точности (у приемников класс точности $-0,75 \dots -0,25^\circ$, у датчиков $-0,25 \dots -1^\circ$).

Сельсины применяют в двух различных режимах работы: силовом (индикаторном) и трансформаторном.

Работа сельсинов в индикаторном режиме. Индикаторный режим – это двигательный режим электрической микромашины – сельсина-приемника (СП). Схема соединения сельсинов, работающих в этом режиме, приведена на рис. 9.1, а. Это устройство из двух сельсинов предназначено для дистанционной передачи угла.

Однофазные обмотки сельсина-датчика (СД) и сельсина-приемника (СП) подключены к переменному напряжению $U(t)$ с частотой $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ Гц (50, 400 или 1000 Гц). Соответствующие обмотки синхронизации – 1, 2, 3 связаны кабельной линией.

При повороте ротора сельсина-датчика на угол α в цепях его статора создадутся токи i_1 , i_2 и i_3 , которые вызовут магнитный поток в обмотке статора сельсина-приемника. Взаимодействие этого потока с магнитным потоком ротора СП вызовет вращающий момент M и ротор СП повернется на угол β . При относительном увеличении угла рассогласования $\epsilon = \alpha - \beta$ вращающий момент M увеличивается как результат взаимодействия продольного и поперечного магнитных потоков, сдвинутых в пространстве на 90° .

Вращающие моменты M , возникшие на каждом сельсине, действуют также в противоположных направлениях, стремясь уничтожить рассогласование, т.е. ротор приемника будет стремиться занять одинаковое положение с ротором датчика. Поэтому если ротор датчика занимает фиксированное положение (заторможен), то ротор приемника под влиянием синхронизирующего момента повернется на угол β , равный углу поворота датчика α . При вращении ротора датчика с постоянной скоростью с такой же скоростью будет вращаться и ротор приемника.

Таким образом, два сельсина – датчик и приемник, работая в паре, самосинхронизируются, т.е. их роторы при любых условиях стремятся занять одинаковое положение в пространстве. Это свой-

ство системы синхронной связи широко используется для измерений угла поворота на значительных расстояниях от управляемого объекта или для задания определенного угла поворота управляющему устройству.

Если сельсин-датчик и сельсин-приемник работают с одной угловой скоростью и их заданные и отработанные углы равны, то говорят, что сельсины работают синфазно.

С помощью сельсинов можно также на расстоянии задавать определенный угол поворота или прямолинейного перемещения различным устройством и тем самым управлять ходом рабочего процесса.

Основными характеристиками системы синхронной связи являются закон изменения токов i_1, i_2, i_3 в обмотках синхронизации, величина синхронизирующего момента M_c от угла рассогласования ϵ .

Синхронизирующим моментом называется крутящий момент на валу приемника, возникающий при наличии угла рассогласования и стремящийся исключить это рассогласование, т.е. придающий приемнику ориентацию, которую имеет ротор передатчика ($\epsilon = 0$). Величину синхронизирующего момента определяют по формуле

$$M_c = \pm 0,5 A \Phi F_{\max} \sin \epsilon, \quad (9.1)$$

где A – постоянный коэффициент, характеризующий СД и СП;

Φ – магнитный поток однофазной обмотки;

F_{\max} – электромагнитная сила обмотки синхронизации.

Знак плюс соответствует моменту M_c на валу СП, а минус – на валу СД.

При постоянных значениях параметров сельсина синхронизирующий момент запишется в общем виде

$$M_c = k \Phi I_{\max} \sin \epsilon, \quad (9.2)$$

где k – приведенный коэффициент передачи сельсина;

I_{\max} – наибольшее действующее значение тока обмотки синхронизации.

Как видно из формул (9.1), (9.2) синхронизирующий момент пропорционален углу рассогласования ϵ .

На рис. 9.2, а показана статическая характеристика синхронизирующего момента, из которого видно, что он достигает максимального значения при $\varepsilon = 90$ и 270° и обращается в нуль при $\varepsilon = 0$ и 180° .

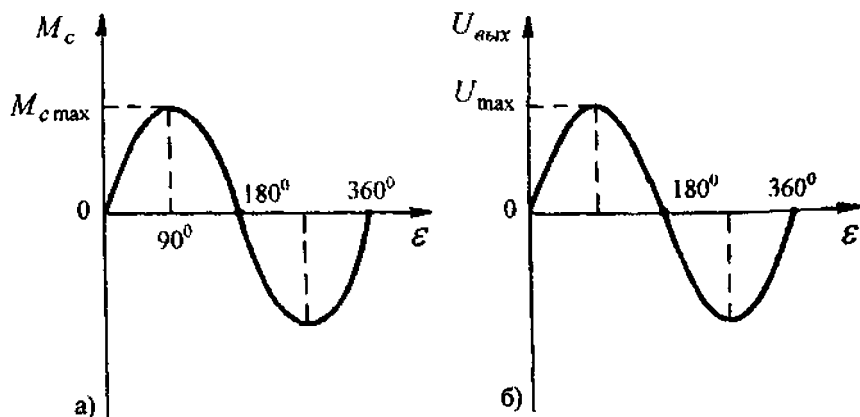


Рис. 9.2. Статические характеристики сельсинных схем:
 а – синхронизирующего момента при индикаторном режиме работы;
 б – выходного напряжения при трансформаторном режиме работы

Синхронизирующий момент M_c характеризует свойство механической самосинхронизации сельсинов в индикаторном режиме. Удельный синхронизирующий момент определяется из выражения

$$M_{уд} = dM_c / d\varepsilon. \quad (9.3)$$

Так при $\varepsilon = 0^\circ$ (или $\varepsilon = 360^\circ n$, $n = 0, 1, 2, \dots$) удельный синхронизирующий момент $M_{уд} > 0$ и равновесие устойчивое. При $\varepsilon = 180^\circ$ (или $\varepsilon = 180^\circ + 360^\circ n$) $M_{уд} < 0$ и равновесие неустойчивое. Таким образом, при угле рассогласования $\varepsilon < 180^\circ$ сельсин-приемник отработает это рассогласование, например, по часовой стрелке, при $\varepsilon > 180^\circ$ – против часовой стрелки. В обоих случаях самосинхронизирующий момент приводит СП в устойчивое равновесие $\varepsilon = 0^\circ$.

При вращении ротора датчика ротор приемника начинает поворачиваться с некоторым запаздыванием. Это объясняется наличием трения на оси приемника.

Угол ϵ , на который ротор приемника отстает от ротора датчика при их вращении, называется рабочим углом рассогласования.

Свойство механической самосинхронизации сельсинов не может быть эффективно использовано в высокочувствительных системах автоматики из-за значительных статических и динамических ошибок. Механическая нагрузка типа сухого трения $M_{\text{нагр}} = M_{\text{тр}}$ на валу СП является причиной статических ошибок, так как равновесие моментов $M_{\text{тр}} = M_{\text{нагр}}$ будет иметь место при соответствующем угле рассогласования ϵ_0 .

Работа сельсина в трансформаторном режиме. Назначение – создавать выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, которое по величине и знаку однозначно определяется углом рассогласования ϵ между сельсинами.

Схема включения сельсинов изображена на рис. 9.1, б и отличается от индикаторной тем, что выходная (сигнальная) обмотка сельсина-трансформатора (СТ) соединяется с входом усилителя-демодулятора системы автоматического регулирования. Сельсин-датчик связан с задающим валом, а сельсин-приемник – с выходным валом нагрузки системы. Напряжение $U_{\text{вых}}$ на зажимах обмотки ротора СТ является напряжением схемы.

Статическая характеристика $U_{\text{вых}} = U_{\text{СТ}}$ трансформаторной схемы СД–СТ (рис. 9.2, б) представляет характеристику балансной модуляции. Она заключается в следующем. Значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ в функции угла рассогласования ϵ между роторами СД–СТ (в диапазоне $\epsilon = 180^\circ$) изменяется по синусоидальному закону при условии начального рассогласования $\epsilon_{\text{нач}} = 90^\circ$.

При положительных значениях угла ϵ фаза выходного модулированного напряжения $U_{\text{вых}}$ совпадает с фазой входного напряжения $U_{\text{вх}}(t) = U_{\text{Т}} \sin \omega_{\text{р}} t$, а при отрицательных – фаза $U_{\text{вых}}$ противоположна фазе напряжения $U_{\text{вх}}(t)$.

Идеальная статическая характеристика схемы СД–СТ вблизи точки $\epsilon = 0$ имеет синусоидальную зависимость

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{max}} \sin \epsilon, \quad (9.4)$$

где U_{max} – действующее значение выходного напряжения при $\epsilon = 90^\circ$.

Из формулы (9.4) следует важный вывод, что по величине напряжения на выходной обмотке СТ можно определить величину рассогласования вращающихся роторов схемы СД–СТ или величину угла рассогласования при повороте ротора СД и закрепленном неподвижно роторе СТ.

Схема СТ–СД используется в системах автоматики измерительных устройств угол–фаза–код, обеспечивая высокую точность измерения. Поэтому в настоящее время измерительные устройства СД–СТ находят применение в телемеханических цифровых системах с микроЭВМ. Информация об угле рассогласования ϵ преобразовывается в сдвиг фазы напряжения $U_{\text{вых}}$ и дальше в цифровой код.

Трансформаторная схема включения сельсинов широко используется в механических, гидропневматических и электрических приводах и системах.

Приборы и оборудование

1. Действующий макет сельсинной связи.
2. Прибор измерительный комбинированный Ц-4317.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием, предназначенными для выполнения работы.
2. Собрать схему индикаторной сельсинной передачи.
3. Практически проверить, где находятся у сельсинов положения устойчивого и неустойчивого равновесия.
4. Замерить рабочий угол рассогласования.
5. Подключить в цепь одной из фазных обмоток миллиамперметр и, изменяя последовательными ступенями угол рассогласования, замерить изменения тока, данные свести в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Результаты измерения тока в фазной обмотке

Угол рассогласования ϵ , градус						
Ток в фазной обмотке приемника I , мА						

6. Собрать трансформаторную схему включения сельсинов и снять характеристику зависимости напряжения на первичной обмотке приемника от угла рассогласования. Данные занести в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Результаты измерений выходного напряжения

Угол рассогласования ϵ , градус						
Выходное напряжение приемника $U_{\text{вых}}$, В						

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Начертить все изученные схемы сельсинных передач.
3. Описать опыты с объяснением их результатов и построить статические характеристики, используя данные замеров.
4. Дать оценку полученным результатам и предложение по применению сельсинов на автомобильном транспорте.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение системы синхронной связи?
2. Какие системы синхронной связи нашли широкое применение в системах автоматики?
3. Начертите индикаторную схему сельсинной системы передачи и объясните ее работу?
4. Чем отличается сельсин-приемник от сельсина-датчика?
5. Что называется углом рассогласования?
6. Что называется рабочим углом рассогласования?
7. Что называется синхронизирующим моментом и от чего зависит его величина?
8. Начертите и объясните характеристику синхронизирующего момента.
9. Начертите трансформаторную схему включения сельсинов и объясните ее работу.
10. Каковы достоинства и недостатки сельсинов?
11. Какое применение находят сельсины в системах автоматизации производственных процессов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в промышленности / пер. с нем.; под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1980. – 648 с.
2. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин: Теория систем автоматического управления: учебное пособие / В.П. Автушко [и др.]; под ред. Н.В. Богдана, Н.Ф. Метлюка. – Минск: НП ООО «ПЦОН», 2001. – 396 с.
3. Теория автоматического управления / под ред. А.А. Воронова. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с. – Часть 1. Теория линейных систем автоматического управления.
4. Автоматика и автоматизация производственных процессов / В.П. Автушко [и др.]; под ред. Н.Ф. Метлюка. – Минск: Высшая школа, 1985. – 302 с.
5. Куликовский, К.Л. Методы и средства измерений / К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. – М.: Энергоиздат, 1986. – 448 с.
6. Шушкевич, В.А. Основы электротензометрии / В.А. Шушкевич. – Минск: Высшая школа, 1975. – 320 с.
7. Солодовников, В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.А. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
8. Иващенко, Н.Н. Автоматическое регулирование / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978.

Содержание

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	3
<i>Лабораторная работа № 1.</i>	
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	4
<i>Лабораторная работа № 2.</i>	
ИНДУКЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ	11
<i>Лабораторная работа № 3.</i>	
ИНДУКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ	20
<i>Лабораторная работа № 4.</i>	
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	29
<i>Лабораторная работа № 5.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ САР ТЕМПЕРАТУРЫ	37
<i>Лабораторная работа № 6.</i>	
АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В РЕСИВЕРЕ	43
<i>Лабораторная работа № 7.</i>	
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В РЕСИВЕРЕ	49
<i>Лабораторная работа № 8.</i>	
ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНЫХ МАШИН	58
<i>Лабораторная работа № 9.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ СЕЛЬСИННОЙ синхронной СВЯЗИ	67
Литература	75

Учебное издание

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»

Составители: АВТУШКО Валентин Петрович
ЖИЛЕВИЧ Михаил Иванович
ГИЛЬ Светлана Валентиновна

Редактор Н.В. Артюшевская
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 27.05.2008.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,47. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 100. Заказ 148.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.