

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

для студентов специальностей 1-50 01 02 «Конструирование и технология
швейных изделий», 1-50 02 01 «Конструирование и технология изделий из
кожи»

ВИТЕБСК
2015

УДК 681.5
ББК 32.965

Автоматика и автоматизация производственных процессов: лабораторный практикум для студентов специальностей 1-50 01 02 «Конструирование и технология швейных изделий», 1-50 02 01 «Конструирование и технология изделий из кожи»

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2014.

Составитель: д.т.н., доц. Кузнецов А.А.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с программой курса «Автоматика и автоматизация производственных процессов», содержит лабораторные работы по указанному курсу и перечень используемой литературы. Издание составлено в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выполнению лабораторных работ.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ» «25» сентября 2014 г., протокол № 2.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Корниенко А.А.
Редактор: к.т.н., доц. Попов Ю.В.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» «27» ноября 2014 г., протокол № 8.

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати 31.12.14. Формат 60x90 1/16. Уч.-изд. л. 3,5.

Печать ризографическая. Тираж 60 экз. Заказ № 366.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий №1/172 от 12.02.2014г.

210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 Исследование разомкнутой и замкнутой систем управления	5
Лабораторная работа № 2 Исследование автоматической системы позиционного регулирования температуры теплового объекта	9
Лабораторная работа № 3 Аналоговое измерение температуры и преобразование результатов измерения в цифровой сигнал	16
Лабораторная работа № 4 Аналоговое измерение угла и преобразование результатов измерения в цифровой сигнал	20
Лабораторная работа № 5 Инкрементально-цифровое определение измеряемых величин	23
Лабораторная работа № 6 Изучение схем автоматического связывания нескольких асинхронных двигателей	27
Лабораторная работа № 7 Исследование магнитного усилителя	35
Лабораторная работа № 8 Градуйрование электровлагомера	41
Лабораторная работа № 9 Определение качественных показателей линейной системы регулирования	45
Лабораторная работа № 10 Экспериментальное определение математической модели объекта регулирования	51
Лабораторная работа № 11 Путь прохождения сигнала в устройстве пожарной сигнализации	56
Лабораторная работа № 12 Блок сравнения кодов (компаратор двоичных чисел)	58

Лабораторная работа № 13 Исследование параметров электромагнитных реле	61
Лабораторная работа № 14 Исследование работы сельсинов	69
Литература	74

Витебский государственный технологический университет

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗОМКНУТОЙ И ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с принципом действия систем автоматического управления (САУ) разомкнутого и замкнутого типов.

Основные теоретические сведения

Автоматическое управление представляет совокупность воздействий, направленных на осуществление функционирования объекта управления в соответствии с имеющейся программой, и осуществляется с помощью автоматических управляющих устройств.

Последние выполняют функции управления без вмешательства человека. Совокупность автоматического управляющего устройства и управляемого объекта, взаимодействующих между собой, образует САУ.

Основными видами автоматического управления являются:

- автоматическое управление с разомкнутой цепью воздействий (жесткое управление);
- автоматическое регулирование;
- автоматическая настройка.

Два последних вида управления характеризуются наличием замкнутых цепей воздействия. Системы, соответствующие этим видам управления, называются замкнутыми в отличие от систем, соответствующих первому виду управления, называемых разомкнутыми.

Автоматическое управление с разомкнутой цепью воздействий характеризуется функциями управления, которые не ставятся в зависимость от действительного хода производственного процесса и выполняются по разомкнутому циклу с целью получения определенного конечного результата (рисунок 1.1)

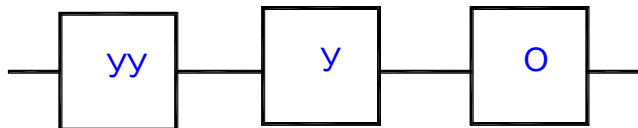


Рисунок 1.1 – Структура разомкнутой системы управления

Жесткое задание через управляющее устройство (УУ) и усилитель (У) воздействует на объект управления (О), на выходе которого устанавливается величина, соответствующая этому заданию. Из-за отсутствия автоматического корректирования действительного хода процесса, при отклонении его от заданного, точность выполнения заданного режима работы электропривода и механизма, при данном виде управления, относительно мала. Системы

автоматического управления с разомкнутой цепью воздействий применяются для обеспечения последовательности работы различных элементов автоматических устройств, для управления пуском и торможением двигателей. Примером данного вида управления может служить пуск двигателя с целью достижения им наперед заданной скорости вращения.

Для автоматического поддержания заданного режима работы двигателя при возмущающих воздействиях на него применяются системы автоматического регулирования (САР).

САР характеризуется тем, что значение требуемых показателей какого-либо процесса поддерживается за счет подачи на управляющее устройство сигналов, определяемых действительным ходом этого процесса. Такая подача сигналов осуществляется при помощи средств обратной связи (ОС). Главным назначением ОС является передача информации о действительном показателе хода процесса для формирования управляющего воздействия, направленного на поддержание заданного режима объекта регулирования (ОР). Под ОР понимается устройство, в котором поддерживается значение требуемых показателей какого-либо процесса посредством регулятора (Р). Совокупность ОР и Р представляет САР (рисунок 1.2).

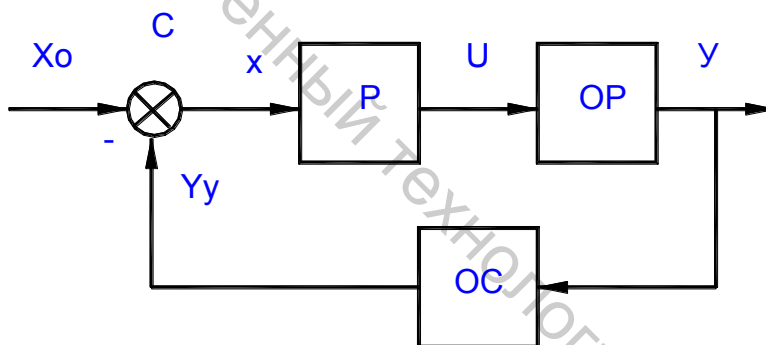


Рисунок 1.2 – Структура замкнутой системы управления

Рассматриваемая система характеризуется наличием замкнутой цепи воздействий, которая и обеспечивает автоматическое поддержание регулируемой величины на заданном уровне. Регулятор Р в зависимости от величины и знака управляющего воздействия Х автоматически определяет значение регулирующего воздействия U. При $Y_u < X_0$ – это воздействие способствует увеличению регулируемой величины, а при $Y_u > X_0$ – ее уменьшению.

Порядок выполнения работы

1. Разработать схему, в которой аналоговый сигнал датчика температуры преобразуется в сигнал, который при допустимых значениях температуры имеет значение «0», а при превышении температуры значение «1» (рисунок 1.3).

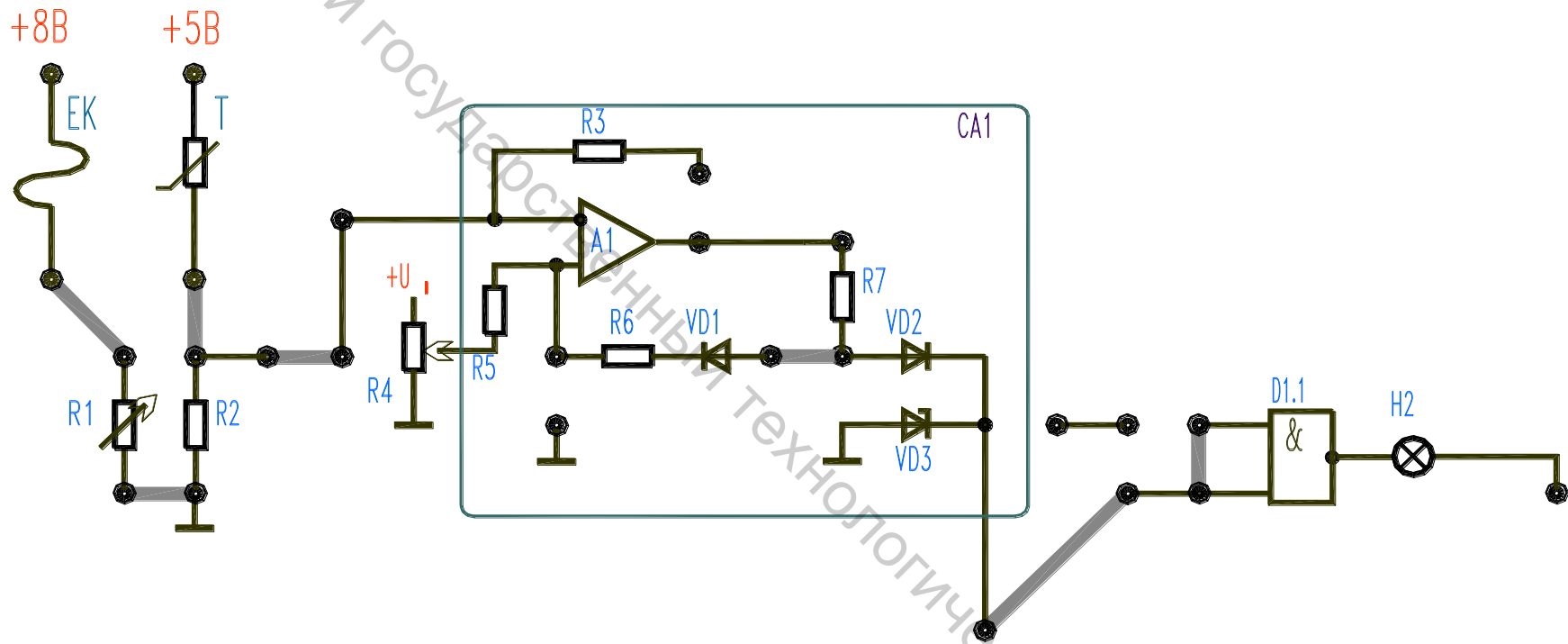


Рисунок 1.3 – Базовая схема регулирования температуры на наборном поле стенда

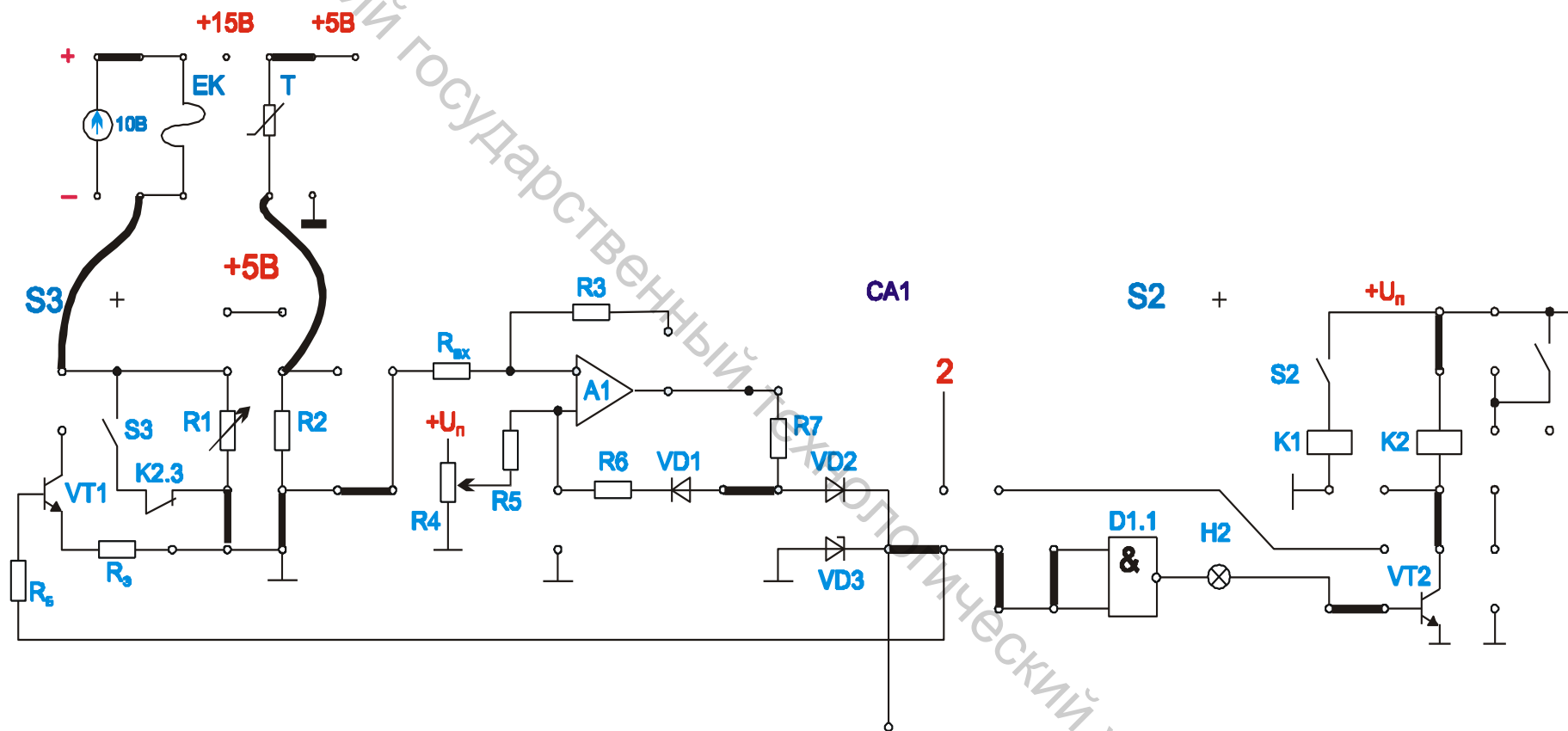


Рисунок 1.4 – Схема для позиционного регулирования температуры на наборном поле станда

2. Дополнить схему таким образом, чтобы нагрев автоматически отключался или уменьшался при достижении верхней предельной температуры. Обратную связь осуществить с помощью транзистора VT1 либо с помощью реле K2 (рисунок 1.4).

3. Представить схему потока сигналов в обоих случаях.

Для ускорения протекающих процессов в схеме рекомендуется включать нагревательный элемент ЕК, минуя резистор R1.

Контрольные вопросы

1. Структура системы автоматического управления (САУ), состав. Основные понятия.
2. Принципы построения системы управления по разомкнутому контуру.
3. Принципы построения системы управления по замкнутому контуру.
4. Понятие обратной связи.
5. Описать принцип работы схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОВОГО ОБЪЕКТА

Цель работы: ознакомиться с конструкцией промышленных позиционных регуляторов, изучить принцип действия регулятора. Исследовать переходный процесс в двухпозиционной системе регулирования. Оценить качество системы.

Основные теоретические сведения

Позиционные регуляторы приборного типа являются самыми простыми и широко распространенными. К числу важнейших преимуществ позиционных регуляторов относится возможность получения высокого качества регулирования при применении достаточно простых и надежных технических средств. Они широко применяются при автоматизации тепловых объектов с электрообогревом; насосных и компрессорных установок, в которых требуется ограничение изменения уровня перекачиваемой в резервуар жидкости; стабилизации давления в паропроводах, трубопроводах (подача сжатого газа); при регулировании частоты вращения двигателей постоянного тока и напряжения генераторов.

На рисунке 2.1 показана функциональная схема двухпозиционного регулирования температуры в объекте с электронагревателем, где 1 – объект, 2 – датчик, 3 – нагреватель, 4 – регулятор, 5 – релейный элемент.

При использовании двух позиционного регулятора регулирующий орган перемещается из одного крайнего положения в другое. При использовании такого типа регулирования в САР возникают незатухающие колебания с постоянной амплитудой, которая зависит от ширины зоны неоднозначности и существенно зависит от запаздывания системы. При увеличении времени запаздывания амплитуда колебаний также возрастает, в реальных системах зона запаздывания всегда больше зоны неоднозначности. Частота колебаний системы определяется инерционными свойствами объекта. Чем больше постоянная времени регулирования T , тем меньше частота, т.е. больше период. Регулятор применяется при $0 < \frac{\tau}{T} < 0,2$.

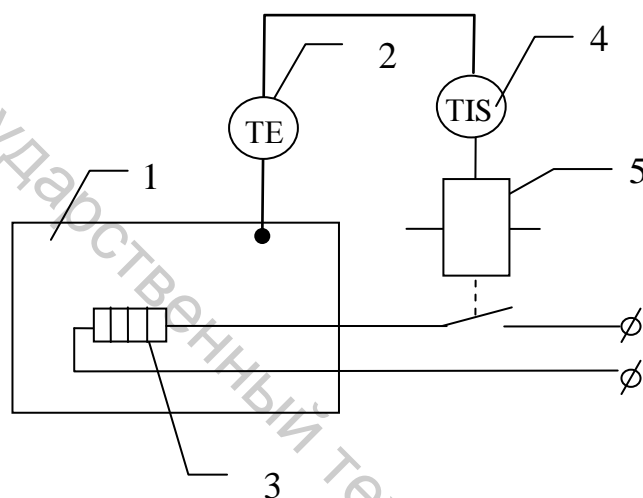


Рисунок 2.1 – Функциональная схема двухпозиционного регулирования:
1 – объект; 2 – датчик; 3 – нагреватель; 4 – регулятор; 5 – релейный элемент

В релейных элементах выходная величина может занимать два фиксированных значения (такие системы называются двух позиционными системами регулирования СДР).

Пример: электронагреватель может быть включен либо выключен, когда температура t либо уменьшается, либо возрастает, при повышении t заданного значения электронагреватель автоматически отключается. И, наоборот, при уменьшении автоматически включается. Такой режим вызывает колебания t относительно заданного значения, т.е. появляются автоколебания. Автоколебания являются основным рабочим режимом СДР, и качество регулирования определяется параметрами автоколебаний, к которым относятся: период автоколебаний и амплитуда. Линейная часть СДР включает все элементы системы, кроме регулятора. В этом случае исследование системы сводится к исследованию поведения ее линейной части при подаче прямоугольных импульсов.

В промышленных регуляторах имеется запаздывание τ , оно состоит из времени запаздывания объекта и времени запаздывания датчика. Это запаздывание учитывается введением в систему звена запаздывания

$$\tau = \tau_o + \tau_{\partial}. \quad (2.1)$$

В этом случае относительный размах колебаний определяется по формуле

$$2\delta^* = 2\delta_o + \Delta\Sigma_1 + \Delta\Sigma_2 = 2\delta_o + \frac{\tau}{1+T}(1-2\delta_o), \quad (2.2)$$

где $\Delta\Sigma_1$ и $\Delta\Sigma_2$ – приращение амплитуды, возникающее в результате запаздывания и зависящее от соотношения времени запаздывания к постоянной времени регулирования;

$2\delta_o$ – ширина зоны неоднозначности;

T – постоянная времени объекта.

Систему двухпозиционного регулирования рекомендуется применять для объектов с большой постоянной времени и с малым временем запаздывания (за счет запаздывания амплитуда автоколебаний возрастает).

Для анализа нелинейных систем применяются приближенные методы (метод фазовой плоскости, метод гармонического баланса, математическое моделирование).

На рисунке 2.2 приведена структурная схема двухпозиционной АСР и установившиеся автоколебания регулируемой величины.

На этом рисунке:

– X_3 – заданное значение регулируемой величины (сигнал, поступающий в регулятор от задатчика);

– X – истинное значение регулируемой величины (сигнал, поступающий в регулятор с датчика);

– $\Delta = X_3 - X$ – сигнал рассогласования,

– ДР – двухпозиционный регулятор;

– Z – команда управления (регулирующее воздействие);

– $\frac{1}{Tp + 1}$ – передаточная функция объекта;

– $e^{-p\tau}$ – передаточная функция датчика.

При таком объекте автоколебаний может не быть, если $\tau \rightarrow 0$.

Пример статических характеристик двухпозиционного регулятора приведен на рисунке 2.3.

На рисунке 2.3 показана статическая характеристика без зоны неоднозначности (идеальная статическая характеристика) и с зоной неоднозначности (реальная статическая характеристика).

Для приближенного анализа автоколебаний в системе двухпозиционного регулирования с регулятором, имеющим зону неоднозначности 2Σ , и объектом с запаздыванием, у которого $W(p) = \frac{e^{-p\tau}}{Tp + 1}$.

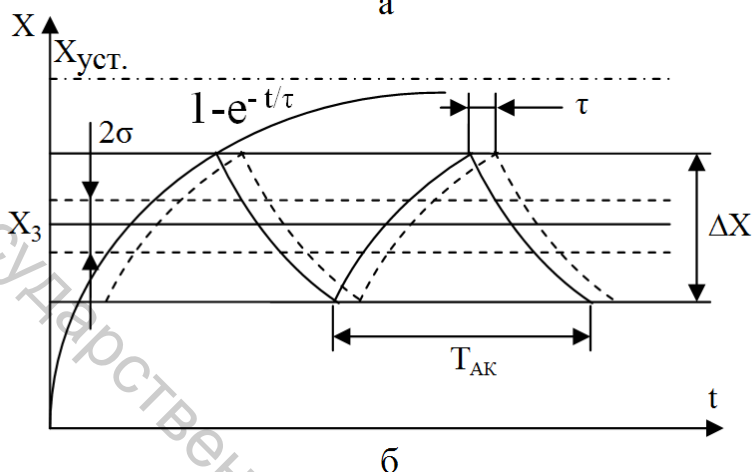
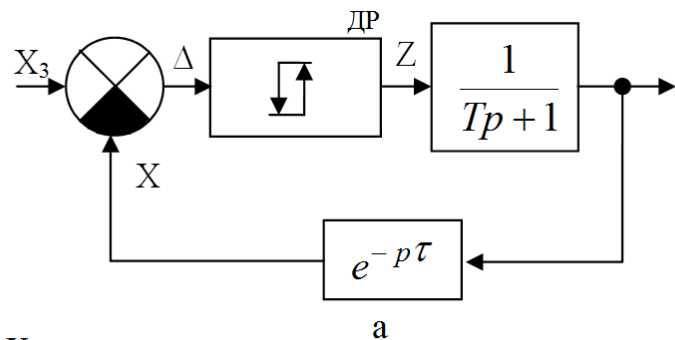


Рисунок 2.2 – Двухпозиционная АСР
а – структурная схема, б – график переходного процесса

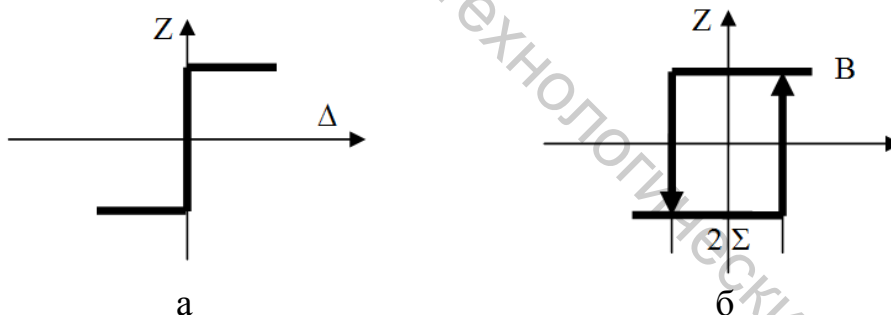


Рисунок 2.3 – Статические характеристики двухпозиционного регулятора:
а – без зоны неоднозначности, б – с зоной неоднозначности

С.М. Смирновым получены формулы, позволяющие рассчитать размах автоколебаний и их период. Относительный (безразмерный) размах автоколебаний

$$2\sigma^* = 2\sigma + \frac{\tau}{T + 0.5\tau} (1 - 2\sigma), \quad (2.3)$$

где 2σ – относительная (безразмерная) зона неоднозначности регулятора;
 T – постоянная времени объекта регулирования;
 τ – время запаздывания.

Относительная зона неоднозначности

$$2\sigma = \frac{2\Sigma}{A}, \quad (2.4)$$

где 2Σ – зона неоднозначности регулятора;

$A = X_{\max} - X_{\min}$ – зона регулирования, оцениваемая по разности установившихся значений регулируемой величины при максимальном и минимальном значениях регулирующего воздействия U_{\max} и U_{\min} .

Размах автоколебаний регулируемой величины:

$$\Delta x = 2\sigma * A. \quad (2.5)$$

Период автоколебаний регулируемой величины:

$$T_A = 2\sigma * T\xi, \quad (2.6)$$

где $\xi = \frac{1}{X_3 * (1 - X_3^n)}$ – коэффициент, характеризующий расположение автоколебаний в зоне регулирования;

$X_3^* = \frac{X_3 - X_{\min}}{A}$ – относительное (безразмерное) задаваемое значение регулируемой величины.

При правильной настройке двухпозиционной АСР установившиеся автоколебания происходят в средней части зоны регулирования. Величина периода автоколебаний в значительной мере сказывается на сроке службы элементов двухпозиционной АСР. При настройке системы на период автоколебаний можно воздействовать только изменением относительной (безразмерной) зоны неоднозначности, точнее, A – зоной регулирования.

$$2\sigma = \frac{2\Sigma}{A}. \quad (2.7)$$

Весьма важным фактором, обуславливающим качество двухпозиционного регулирования, является время запаздывания τ . При наличии запаздывания размах автоколебаний будет тем больше, чем больше 2σ и отношение $\frac{\tau}{T}$, поэтому двухпозиционное регулирование рекомендуется применять лишь для регулирования объектов с большими постоянными времени T и малым временем τ , при этом соотношение $\frac{\tau}{T}$ должно быть не более 0,2.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия системы автоматического управления двигателем постоянного тока на основе температурной зависимости.

2. Составить структурную схему САУ двигателя.

Система автоматического управления работой двигателя на основе температурной зависимости представлена на рисунке 2.4

САУ включает:

- датчик температуры Rt ;
- транзисторы $VT1, VT2$;
- операционный усилитель (компаратор) $A1$;
- задатчик температуры $R4$;
- логический элемент $D1.1$;
- лампа накаливания $H2$;
- двигатель постоянного тока $M1$.

3. Определить отдельные элементы устройства, их функциональное назначение и объекты управления.

4. Изобразить структурную схему САУ.

5. Определить, при каких условиях электродвигатель находится во включенном состоянии.

6. Смонтировать схему и проверить правильность ваших выводов.

7. Представить обоснование необходимости температурно - зависимого включения станков, приборов и установок. Какой конкретный процесс может быть смоделирован в ходе выполнения опыта?

Контрольные вопросы

1. Что такое двухпозиционное регулирование?

2. Какими параметрами характеризуется переходный процесс для двухпозиционных САУ, как они определяются?

3. Пояснить процесс регулирования САУ температуры по схеме лабораторной установки.

4. Дать качественную оценку процесса регулирования температуры.

5. Описать принцип работы схем.

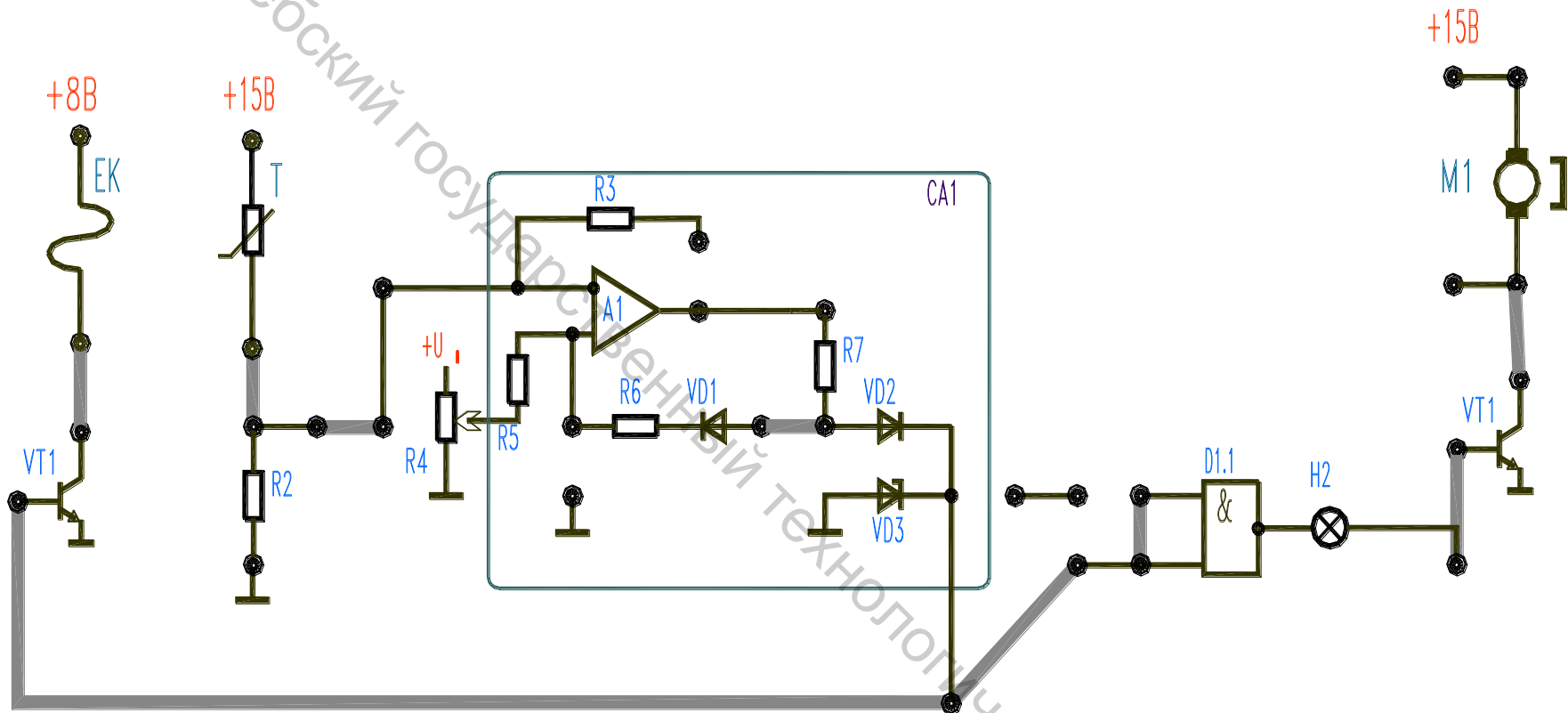


Рисунок 2.4 – Система автоматического управления работой двигателя на основе температурной зависимости

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

АНАЛОГОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ

Цель работы: изучить методы измерения аналоговых сигналов при помощи операционных усилителей. Изучить методы преобразования аналогового сигнала в цифровой сигнал.

Основные теоретические сведения

Основной функцией датчика является преобразование входной величины любой физической природы в величину на выходе, более удобную для контроля, регулирования или управления.

Непосредственно использовать входной сигнал датчика для воздействия на последующие элементы автоматической системы не всегда возможно.

Преобразование выходной величины датчика в удобный для последующего использования и измерения вид осуществляется в измерительных схемах. Входной величиной измерительной схемы являются переменное сопротивление или напряжение.

Из большого разнообразия измерительных схем наиболее широко используются мостовые, дифференциальные и компенсационные.

Мостовые схемы применяют преимущественно совместно с датчиками, работа которых основана на изменении сопротивления.

Дифференциальные схемы применяют при необходимости сравнения двух величин или когда необходимо исключить синфазную составляющую в измеренном сигнале.

Компенсационные схемы используются при измерении малых ЭДС.

С развитием интегральной схемотехники все большее распространение получают измерительные схемы на основе ОУ. Этому соответствуют такие его качественные характеристики, как: возможность обеспечения постоянного коэффициента усиления; большой коэффициент подавления синфазного сигнала; малые смещения и дрейфы входных и выходных сигналов, малые выходные сопротивления и большое ($10^6 - 10^8$) выходное сопротивление.

Большинство физико-технических величин являются по своим свойствам аналоговыми величинами. Они определяются и представляются в форме, пригодной для соответствующей обработки сигнала с помощью аналоговых измерительных устройств.

Дискретизация и кодирование непрерывных сигналов. Под дискретизацией понимается преобразование непрерывных сигналов в дискретные. При этом используется дискретизация по времени и по уровню. Дискретизация по времени выполняется путем взятия отсчетов функции $U(t)$ в определенные дискретные моменты времени t_k . В результате непрерывная функция $U(t)$ заменяется совокупностью мгновенных значений:

$$U_k = U(t_k). \quad (3.1)$$

Обычно моменты отсчетов выбираются на оси времени равномерно, т.е.

$$t_k = K\Delta t. \quad (3.2)$$

Дискретизация по времени лежит в основе всех видов импульсной модуляции. Дискретизация значений функции (уровня) носит название квантования. Операция квантования сводится к тому, что вместо данного мгновенного значения сообщений $U(t)$ передаются ближайшие значения по установленной шкале дискретных уровней (рисунок 3.1).

Дискретные значения по шкале уровней выбираются равномерно:

$$U_k = K\Delta U. \quad (3.3)$$

При квантовании вносится погрешность, т.к. истинные значения функции U заменяются округленными значениями U_k .

Погрешность $\varepsilon = U - U_k$ является случайной величиной и проявляется на выходе как дополнительный шум, наложенный на передаваемый сигнал. Дискретизация одновременно по уровню и по времени позволяет непрерывное сообщение преобразовать в дискретное, которое затем может быть закодировано и передано методами дискретной техники.

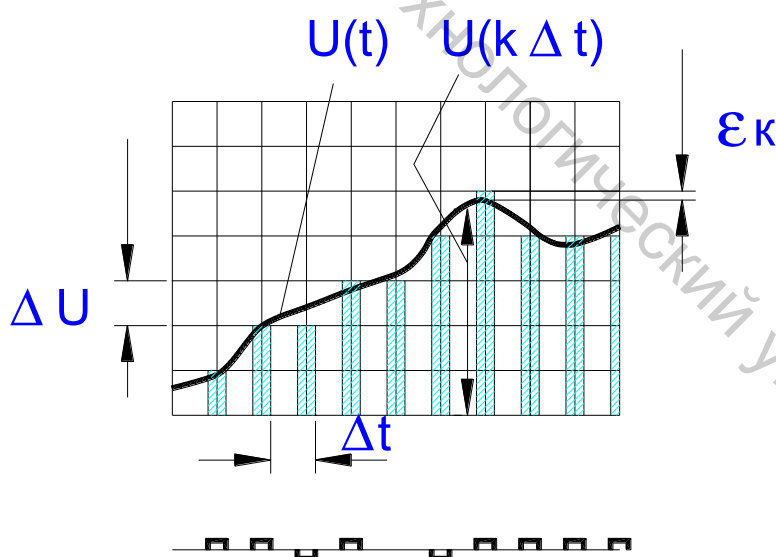


Рисунок 3.1 – Квантование аналогового сигнала

Достоинствами передачи сигналов путем дискретизации их являются возможность применения кодирования для повышения помехоустойчивости, удобства обработки сигналов и сопряжения устройств связи с цифровыми ЭВМ.

Витебский государственный технологический университет

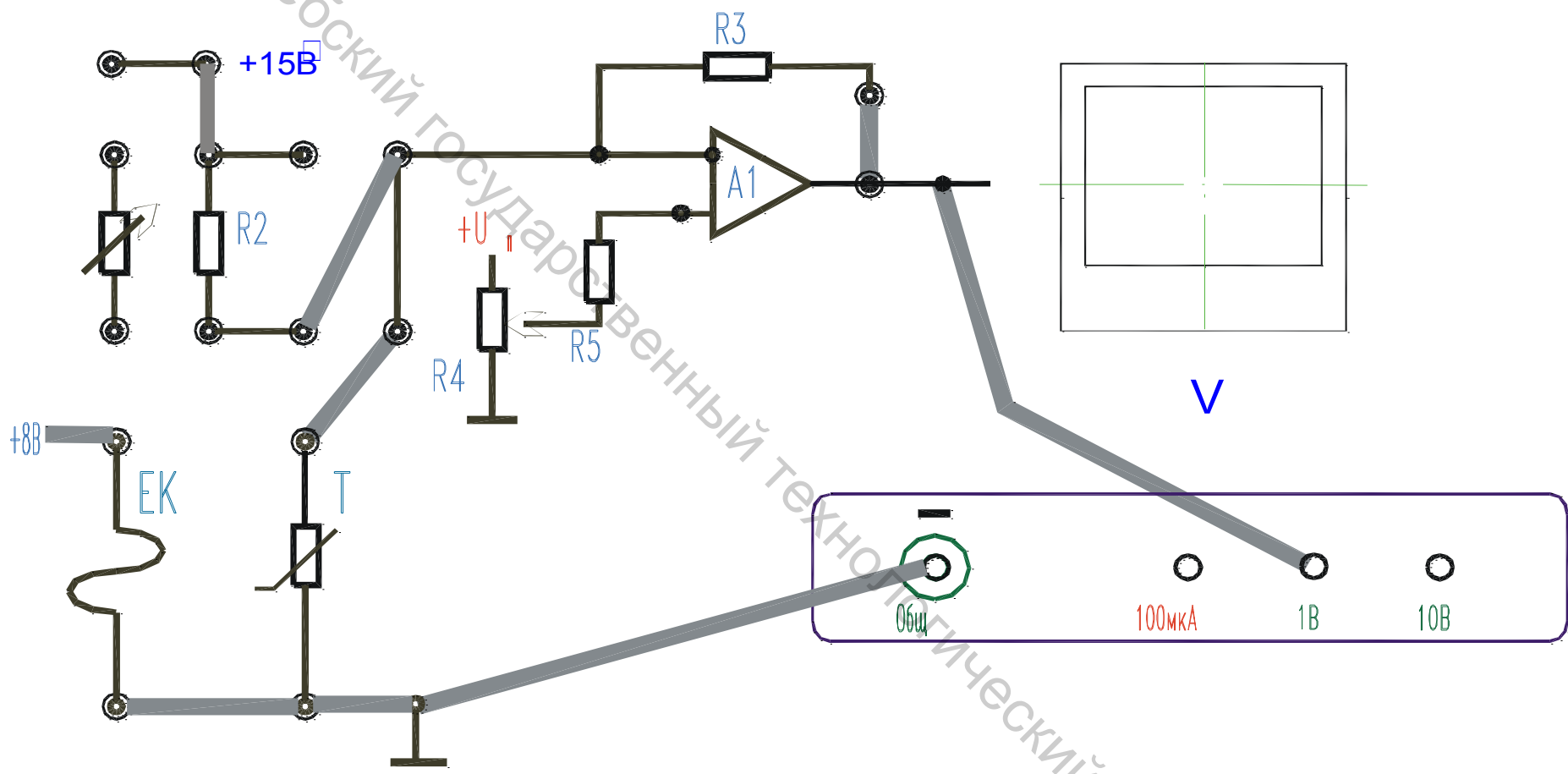


Рисунок 3.2 – Схема измерения температуры

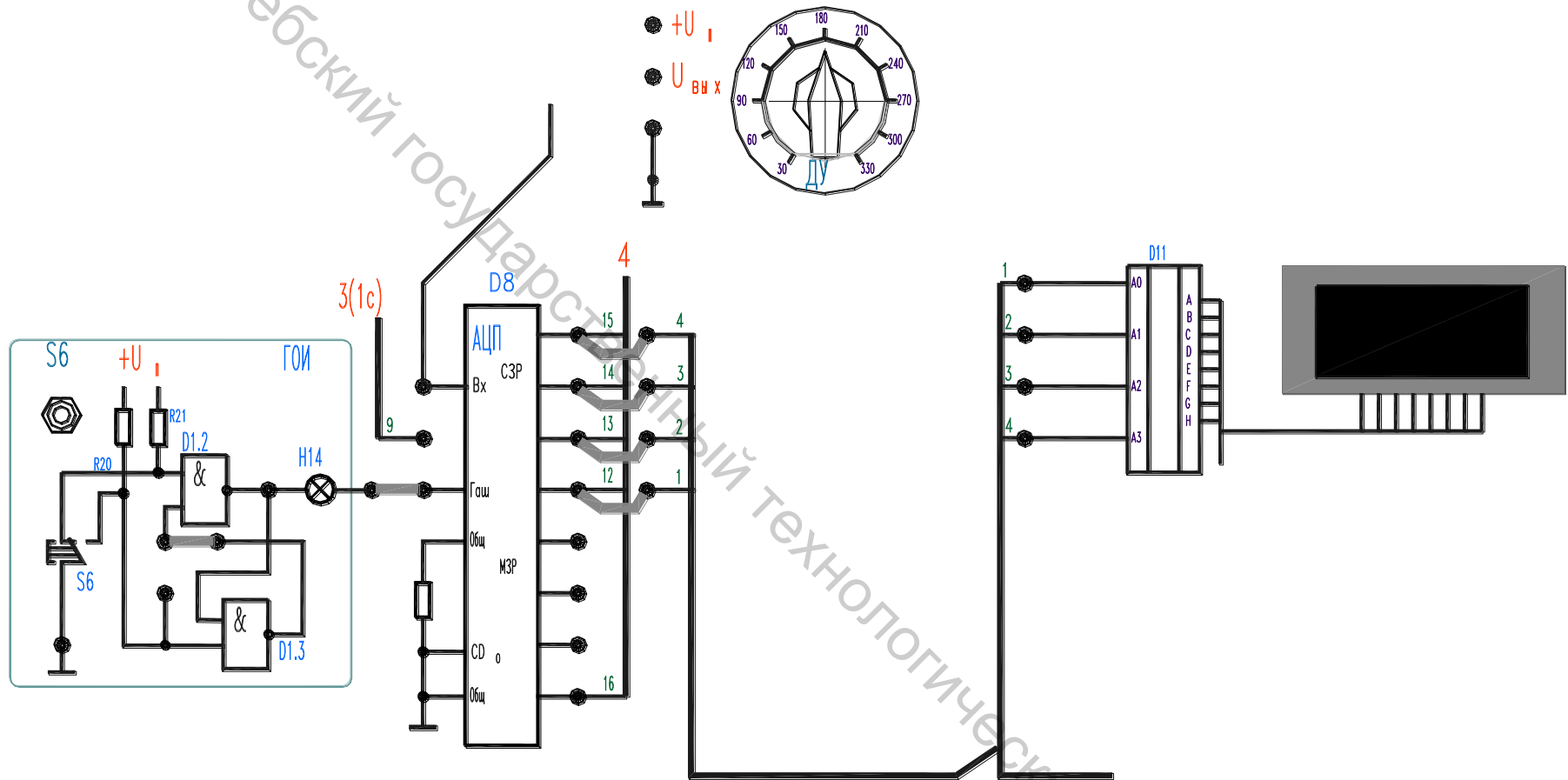


Рисунок 3.3 – Схема аналого-цифрового преобразователя (АЦП)

Порядок выполнения работы

1. Разработайте и соберите схему для аналогового измерения температуры на основе терморезистора и инвертирующего операционного усилителя (рисунок 3.2).

2. Сравните носители информации и информационные параметры, а также вид сигналов, поступающих от измерительных устройств. Отобразите результаты проделанной работы в соответствующей таблице.

3. Произведите преобразование выходного сигнала датчика в цифровой сигнал, соединив выход схемы (рисунок 3.2) с входом АЦП (рисунок 3.3).

4. Представьте в виде таблицы взаимосвязь показаний элемента индикации, кодированного двоичным кодом выходного сигнала АЦП, и значения температуры $t^{\circ}\text{C}$.

Контрольные вопросы

1. Первичные преобразователи температуры.
2. Виды измерительных схем.
3. Дискретизация по времени.
4. Дискретизация по уровню.
5. АЦП, назначение и принцип действия.
6. Пояснить работу схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

АНАЛОГОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ

Цель работы: изучить методы измерения аналоговых сигналов при помощи операционных усилителей. Ознакомиться с методами построения преобразователей угол – код.

Основные теоретические сведения

Основной функцией датчика является преобразование входной величины любой физической природы в величину на выходе, более удобную для контроля, регулирования или управления.

Непосредственно использовать входной сигнал датчика для воздействия на последующие элементы автоматической системы не всегда возможно.

Преобразование выходной величины датчика в удобный для последующего использования и измерения вид осуществляется в измерительных схемах. Входной величиной измерительной схемы являются переменное сопротивление или напряжение.

Из большого разнообразия измерительных схем наиболее широко используются мостовые, дифференциальные и компенсационные.

Мостовые схемы применяют преимущественно совместно с датчиками, работа которых основана на изменении сопротивления.

Дифференциальные схемы применяют при необходимости сравнения двух величин или когда необходимо исключить синфазную составляющую в измеренном сигнале.

Компенсационные схемы используются при измерении малых ЭДС.

С развитием интегральной схемотехники все большее распространение получают измерительные схемы на основе ОУ.

Большинство физико-технических величин являются по своим свойствам аналоговыми величинами. Они определяются и представляются в форме, пригодной для соответствующей обработки сигнала с помощью аналоговых измерительных устройств.

За последние годы определилась такая область метрологии, как преобразование аналоговых величин в цифровую форму.

Преобразователи угловых положений в цифровой код стали находить широкое применение после появления ЭВМ и их внедрения в системы автоматического регулирования. Существуют две тенденции развития преобразователей угол – код: совершенствование кодирующих устройств угловых перемещений и увеличение точности преобразователей.

Преобразователи угол – код подразделяются на три класса: преобразователи считывания, циклические преобразователи и накапливающие.

Циклические преобразователи преобразуют угол поворота в пропорциональный отрезок времени, который затем измеряется и кодируется. Этот способ часто используется в прецизионных и двухотсчетных преобразователях угла при кодировании параметров (фазы) электрических сигналов, в которые превращается угол поворота.

Однако построить преобразователи, позволяющие закодировать полный угол с разрешающей способностью в несколько секунд, по этому способу не удается.

Преобразователи считывания предполагают использование специальной маски, разбитой на дискретные участки. Угол в пределах участка характеризуется одной комбинацией кодовых значений, считывание которых производится при помощи линии считывания, перемещающейся по маске. Возможны различные варианты построения на основе фотоэлектрических, магнитных, контактных устройств. Наибольшая точность получена при использовании оптических кодовых масок.

Преобразователи с разрешающей способностью и погрешностью, равными нескольким секундам дуги, необходимо выполнять двухотсчетными, т.е. имеющими грубый отсчет, максимальный код которого соответствует полному обороту вала, и точный отсчет, "вес" которого соответствует некоторой доле оборота вала. Такая схема преобразователя предполагает наличие устройства, выполняющего роль преобразователя масштаба угла, т.е.

преобразующего угол поворота в некоторую другую величину, как правило, в амплитуду или фазу электрического сигнала, причем это преобразование повторяется многократно за оборот вала.

Структурная схема двухотсчетного преобразователя угол – код дана на рисунке 4.1.

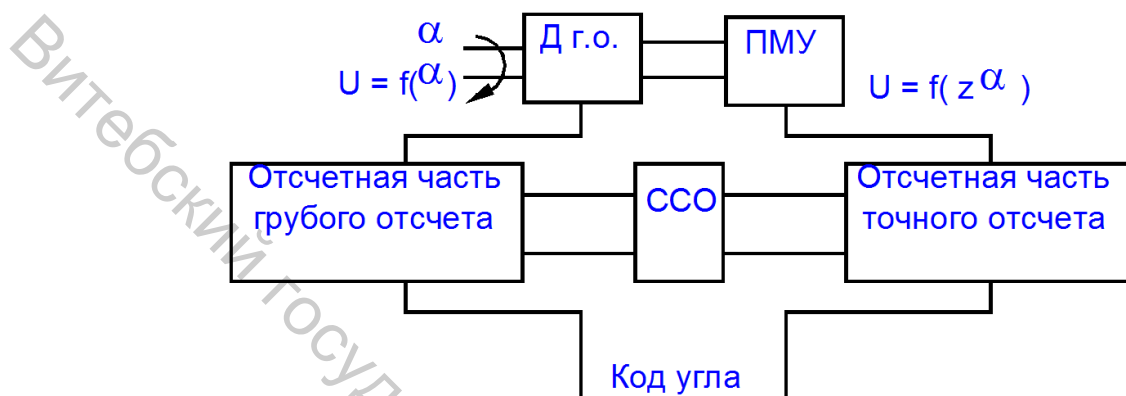


Рисунок 4.1 – Структурная схема двухотсчетного преобразователя угол – код

В состав преобразователя входят:

- ДГО – датчик грубого отсчета;
- ПМУ – преобразователь масштаба угла;
- отсчетная часть грубого отсчета;
- отсчетная часть точного отсчета;
- ССО – схема согласования отсчетов.

В данной схеме преобразователь угол – код можно разделить на две части:

1. Датчик угла, включающий в себя преобразователь масштаба угла (датчик точного отсчета), и датчик грубого отсчета.

2. Отсчетная часть преобразователя. Датчик угла располагается непосредственно на валу и служит для преобразования угла поворота в электрические сигналы, параметры которых зависят от этого угла. При этом сигналы с ПМУ многократно повторяют цикл изменения за оборот вала; число циклов равно коэффициенту преобразования масштаба Z . Это обстоятельство вносит неоднозначность отсчета. С целью обеспечить однозначность используется датчик грубого отсчета, который можно представить как вырожденный ПМУ с $Z = 1$.

Отсчетная часть преобразователя включает в себя разнообразные электронные устройства, служащие для получения эквивалента угла в цифровой форме. Сюда относятся схемы питания ПМУ и датчика грубого отсчета, усиления, измерения величины параметра сигнала, зависящего от угла α , формирования цифрового кода и т.п.

Порядок выполнения работы

1. Разработайте и соберите схему для аналогового измерения угла на основе инвертирующего операционного усилителя (рисунок 3.2), заменив нагреватель и датчик температуры на датчик угла поворота.
2. Определите различные значения потенциала, поступающего от датчика угла ДУ.
3. Сравните носители информации и информационные параметры, а также вид сигналов, поступающих от измерительных устройств. Отобразите результаты проделанной работы в соответствующей таблице.
4. Произведите преобразование выходного сигнала датчика в цифровой сигнал, соединив выход схемы (рисунок 3.2) с входом АЦП (рисунок 3.3).
5. Подать питание +5В на ЦДУ. Вручную приведите в действие ЦДУ. Начиная с угла 30° , определить соответствующую двоичную величину на выходе датчика.
6. Сделайте сравнительный анализ аналогового и цифрового датчиков углов.
7. Отрадите в таблице преимущества и недостатки аналогового и цифрового датчиков углов.

Контрольные вопросы

1. Первичные преобразователи угла поворота вала исполнительного механизма.
2. Виды измерительных схем.
3. Двухотсчетный преобразователь угол – код.
4. Пояснить работу схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИНКРЕМЕНТАЛЬНО-ЦИФРОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Цель работы: цифровые счетчики при инкрементально-цифровом определении измеряемых величин.

Основные теоретические сведения

Применение инкрементально-цифрового метода определения измеряемых величин невыгодно в тех случаях, когда нулевая (исходная) точка измерений должна устанавливаться произвольно, что характерно, в частности, для числового программного управления. Принцип инкрементально-цифрового определения измеряемой величины поясняется рисунком 5.1

Как видим, основным устройством при таком измерении является счетчик импульсов.

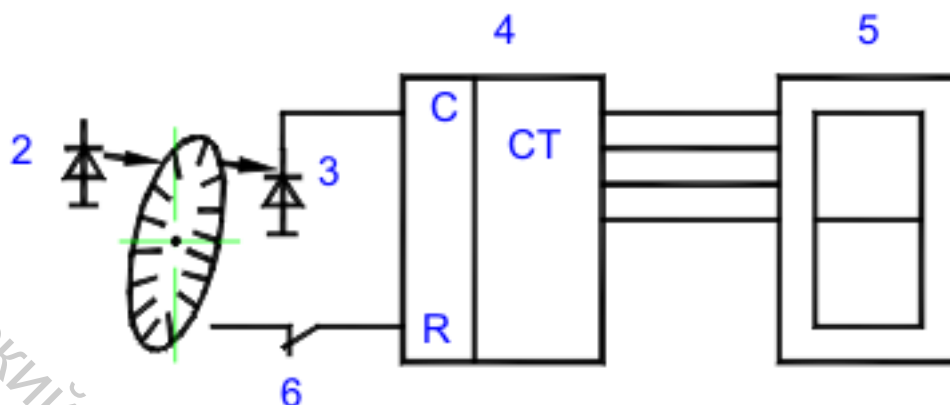


Рисунок 5.1 – Инкрементально-цифровой датчик:

1 – модульный диск; 2, 3 – оптопара; 4 – счетчик; 5 – индикатор; 6 – тумблер сброса

Основными показателями счетчиков являются:

- модуль счета;
- коэффициент счета K ;
- быстродействие.

Быстродействие счетчика характеризуется максимальной частотой $f_{сч}$ следования счетных импульсов и связанным с ней временем ($t_{уcm}$) установки счетчика.

Счетчики импульсов выполняются на основе триггеров. Счет числа импульсов производится с использованием двоичной системы счисления.

Счетчики подразделяются на двоичные и двоично-десятичные, на реверсивные и нереверсивные, на суммирующие и вычитающие.

Основой любой из этих схем служит линейка из нескольких триггеров. Перечисленные варианты счетчиков различаются схемой управления этими триггерами. Между триггерами добавляются логические связи, назначение которых – запретить в цикле счета лишние импульсы.

В работе используется двоично – десятичный четырехразрядный реверсивный счетчик ИЕ6.

Импульсные тактовые входы Си и Сд в этом счетчике отдельные. Состояние счетчика меняется по положительным перепадам тактовых импульсов от низкого уровня к высокому.

Для упрощения построения счетчиков с числом разрядов больше четырех микросхема имеет выводы окончания счета \overline{T}_{Si} и \overline{T}_{Cd} . От этих выводов берутся тактовые импульсы переноса для последующего счетчика.

По входам разрешения параллельной загрузки PE и R запрещается действие тактовой последовательности и даются команды загрузки четырехразрядного кода в счетчик или его сброса.

Таблица истинности счетчика имеет вид:

Таблица 5.1 – Таблица истинности счетчика

Режим	Вход				Выход									
	R	C	C _α	C _д	Д0	Д1	Д2	Д3	Q0	Q1	Q2	Q3	$\overline{\text{ТС}}_{\text{и}}$	$\overline{\text{ТС}}_{\text{д}}$
Сброс	В	Х	Х	Н	Х	Х	Х	Х	Н	Н	Н	Н	В	Н
	В	Х	Х	В	Х	Х	Х	Х	Н	Н	Н	Н	В	В
Параллельная загрузка	Н	Н	Х	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	В	Н
	Н	Н	Х	В	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	В	В
	Н	Н	Н	Х	В	Х	Х	В	Q _n = D _n				Н	В
	Н	Н	В	Х	В	Х	Х	В	Q _n = D _n				В	В
Счет на увеличение	Н	В	↑	В	Х	Х	Х	Х	Счет на увеличение			В	В	
Счет на уменьшение	Н	В	В	↑	Х	Х	Х	Х	Счет на уменьшение			В	В	

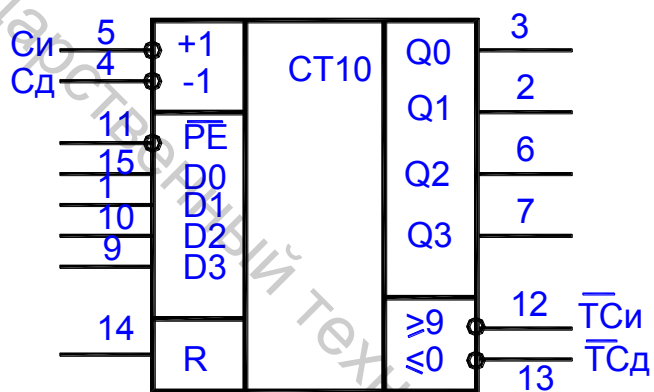


Рисунок 5.2 – Обозначения выводов счетчика

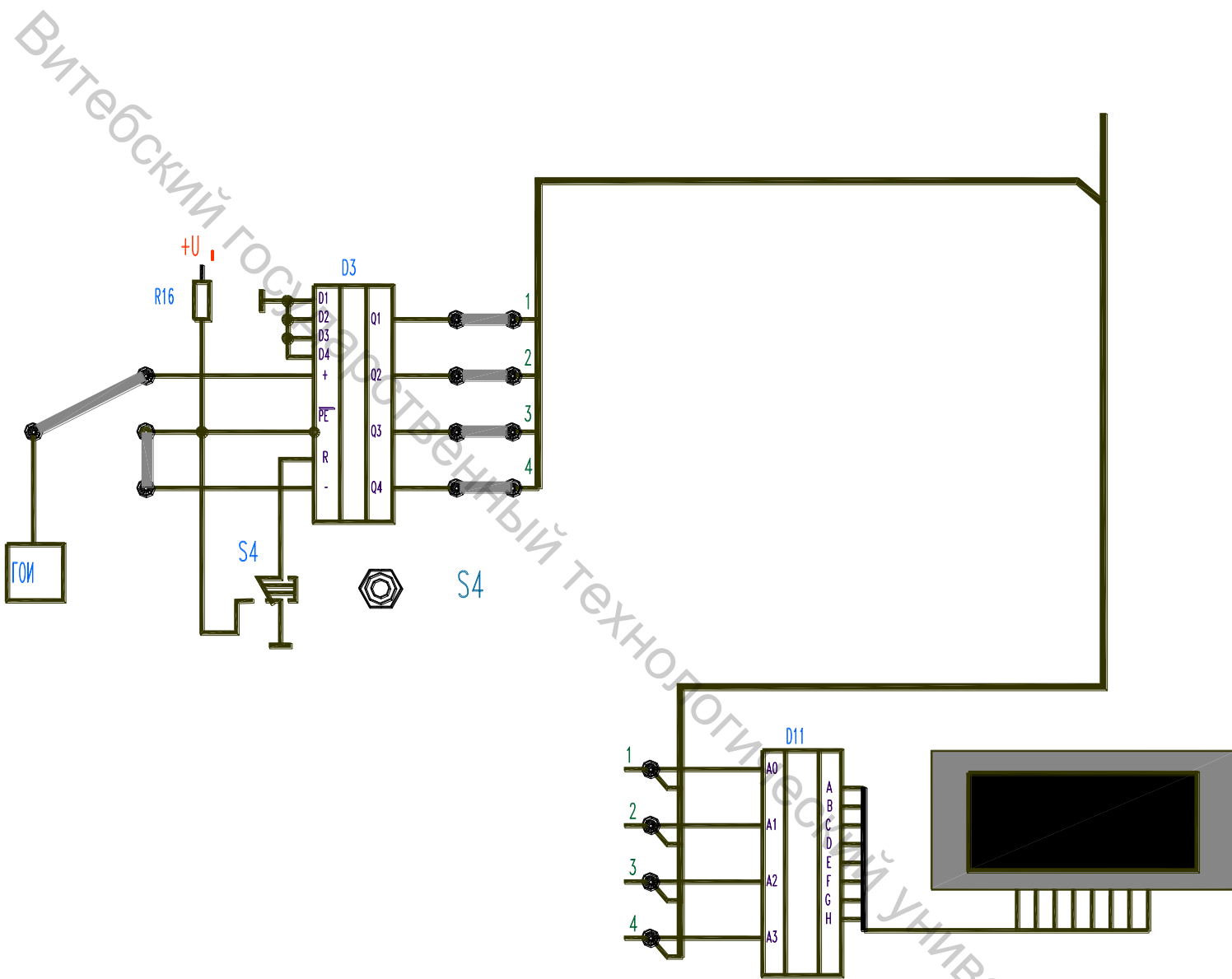


Рисунок 5.3 – Инкрементирующая счетная схема

Порядок выполнения работы

1. Изучить схему включения реверсивного счетчика К155ИЕ6. Включите счетчик в режиме прямого счета, затем обратного. Для индикации используйте индикаторы секундомера, подсоединив выходы счетчика к дешифратору секундомера. Входные импульсы подавайте от ГОИ (его схему надо предварительно собрать). (Рисунок 5.3).

2. Реализуйте датчик угла с помощью модулирующего диска, установленного на валу электродвигателя. Используйте для этого оптопару. Выходные импульсы схемы подавайте на один из входов + или - схемы на рис. 5.3, отсоединив предварительно ГОИ.

3. Установите счетчик в "0" (кнопка S4) и приведите датчик в действие, повернув диск в любом направлении.

4. Поясните физический смысл полученных данных.

Контрольные вопросы

1. Область применения инкрементально-цифровых схем вторичных преобразователей.

2. При каких условиях применение данного метода измерения углов можно считать рациональным?

3. Сравните методы инкрементально-цифрового и абсолютно-цифрового измерений.

4. Пояснить работу схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО СВЯЗЫВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучение средств и способов связывания нескольких асинхронных двигателей. Изучение схем последовательного включения двухфазных асинхронных двигателей.

Основные теоретические сведения

Во многих производственных комплексах (в цехах с разветвленной сетью пневмотранспорта, в сушилах периодического действия, в системах электрического управления гидроприводом и др.) возникает необходимость осуществлять направленный последовательный запуск нескольких асинхронных двигателей. Например, в цехах с большой запыленностью необходимо сначала запустить двигатели вентиляторов отсоса воздуха, затем двигатели транспортеров или конвейеров и уже в последнюю очередь –

двигатели производственных механизмов. Такое управление запуском производственных механизмов (приводов) может быть выполнено с помощью релейно-контакторных схем со специальными блокировками и реле времени.

По характеру работы релейные схемы разделяют на одноконтные и многоконтные.

В многоконтных схемах состояние исполнительных элементов определяется не только входными сигналами, но и последовательностью их поступления, а также состоянием исполнительных элементов.

В многоконтных релейных схемах исполнительные реле работают как бегуны в эстафете, т. е. предусматривается определенная последовательность работы исполнительных реле. При исследовании схем решаются две задачи:

1. Синтез схем – нахождение структуры схемы по заданным условиям работы схемы.

2. Анализ схем – определение условий работы схемы или определенных ее элементов по имеющейся структурной схеме.

При анализе схем производят преобразования, при которых число промежуточных элементов стараются выбрать минимальным, т. к. при этом надежность схемы увеличивается. Преобразование схемы является подчас сложной и самостоятельной задачей. Рассмотрим возможность блокировочных связей для обеспечения определенной последовательности работы электродвигателей или их взаимосвязи.

Блокировочные связи очень часто используются в схемах путевого управления электродвигателями. В качестве блокировочных связей часто используют конечные выключатели, технологические контакты и др.

Принцип пути здесь означает, что какой-нибудь узел электрической схемы управления электродвигателями работает в зависимости от положения в пространстве органов машин и механизмов (стола, суппорты, головки станков и т. п.). Эти узлы выполняют часто такие задачи, как подача первоначальных команд на пуск или остановку двигателей только в определенной области перемещений, изменение режимов работы (в т.ч. скорости вращения двигателя) и др.

Наиболее распространенные типовые узлы путевых схем

1. Узел автоматического управления двумя асинхронными двигателями 1АД и 2АД в определенном диапазоне перемещений рабочего органа А (рисунок 6.1). В этой схеме горизонтальные перемещения рабочего органа А, если он не в крайних положениях, не ограничивают управление двигателями. При замыкании кнопок ПВ и ПН включается один или другой двигатель. Если рабочий орган попадает в одно из крайних положений, он нажимает на стержень соответствующего конечного выключателя (например, ККВ), а последний отключает от сети соответствующий контактор (КВ) и работающий электродвигатель (1АД). После этого движение рабочего органа предполагается

возможным лишь в обратную сторону, т. е. включиться может только двигатель 2АД.

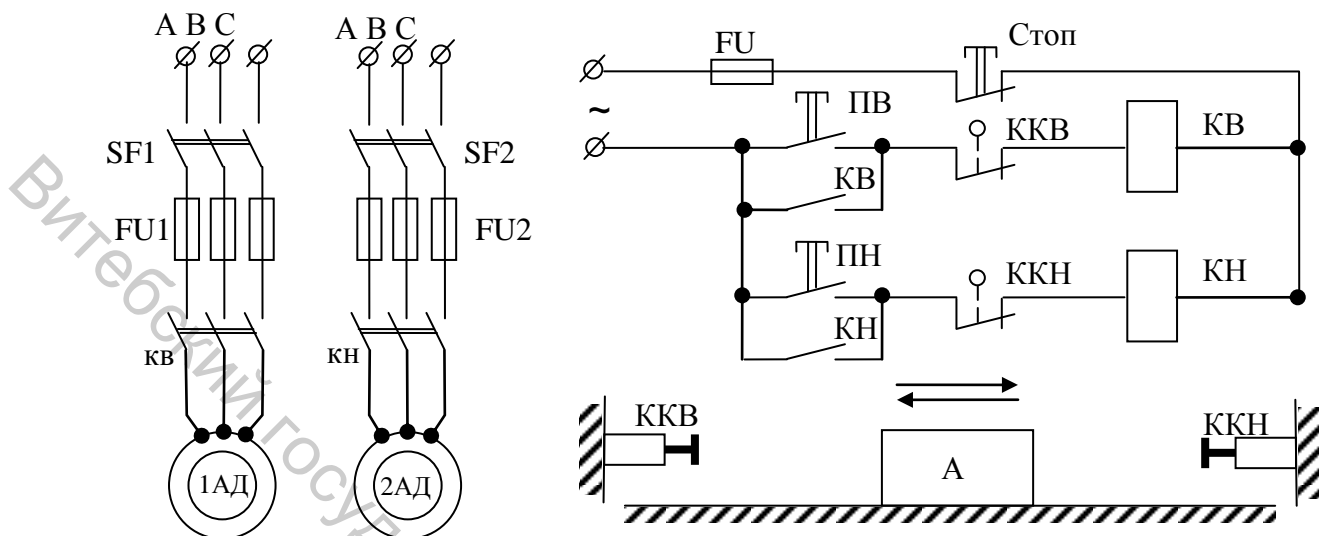


Рисунок 6.1 – Схема путевого принципа управления двигателями

2. Управление скоростью двигателя на определенном участке пути.

Узел, представленный на рисунке 6.2, дает возможность двухскоростному АД работать на низкой скорости, когда рабочий орган А находится на заданном участке пути.

Когда рабочий орган А уходит за пределы заданного участка, двигатель работает с удвоенной скоростью.

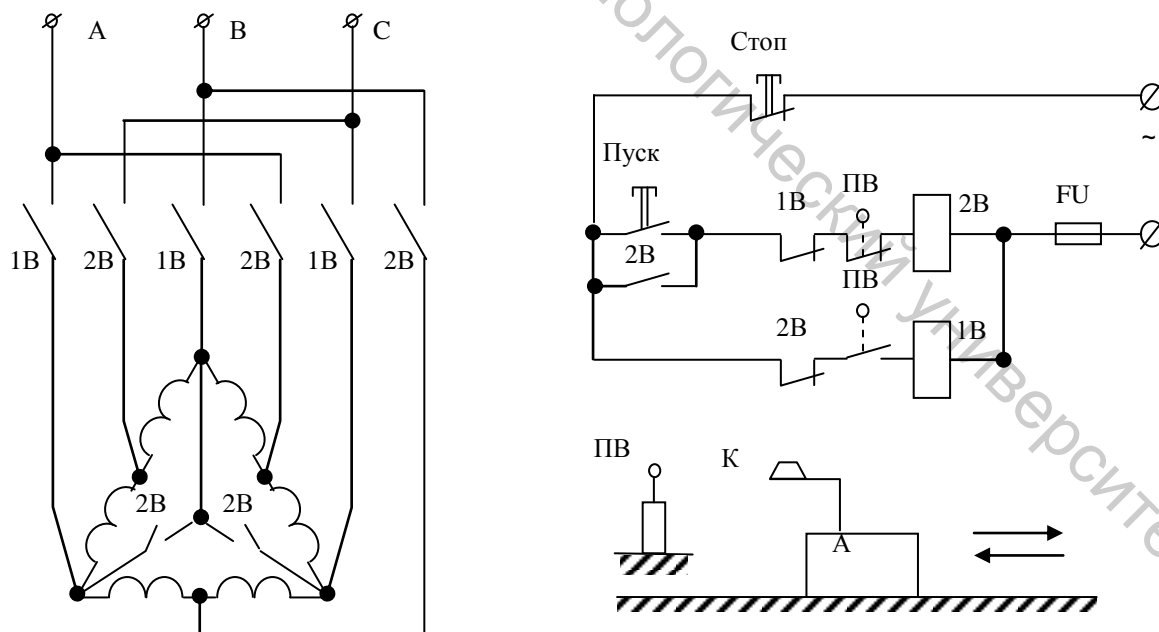


Рисунок 6.2 – Схема путевого управления скоростью двигателя

Действительно, если кулачок К нажимает на ролик двухконтактного путевого выключателя с самовозвратом ПВ, тогда контактор 2В автоматически

отключается, а включается контактор 1В и двигатель подключается к сети с обмоткой, соединенной по схеме «треугольник».

Если рабочий орган переместится и не будет воздействовать на путевой выключатель ПВ, то последний отключает контактор 1В и включает 2В, который соединит обмотки двигателя по схеме «двойная звезда», и его синхронная скорость увеличится в два раза.

3. Узел, обеспечивающий ограниченное перемещение рабочего органа в одну сторону (вправо) (рисунок 6.3).

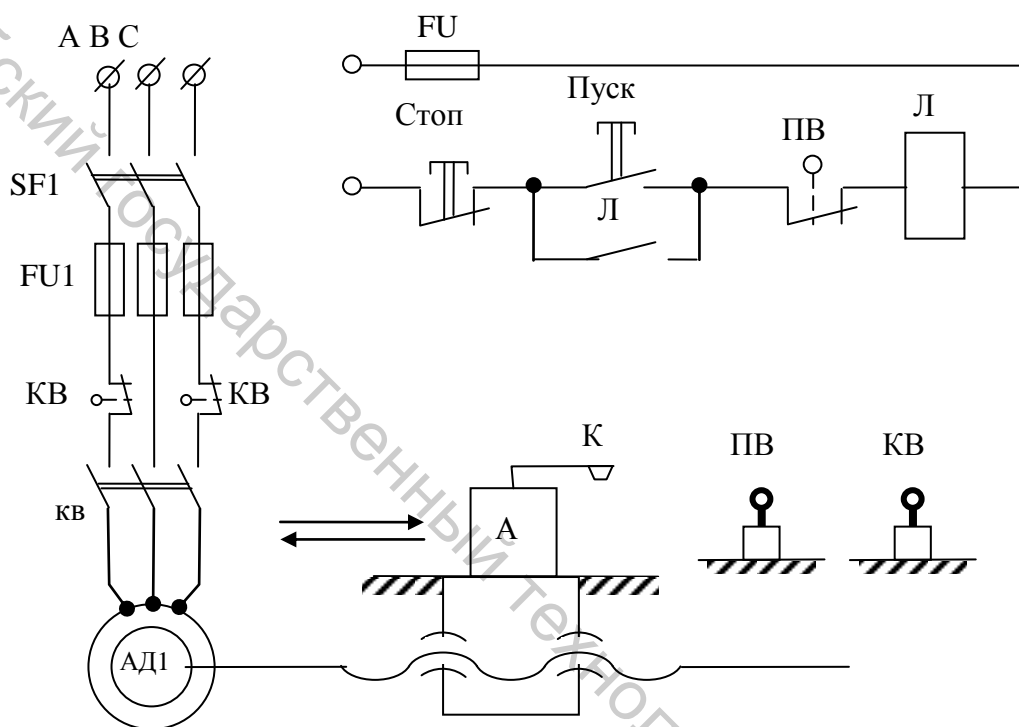


Рисунок 6.3 – Схема управления с ограничением перемещения

Рабочий орган приводится в движение двигателем АД, который может работать, если не нажат соответствующий выключатель ПВ.

Если же он нажат, контактор Л отключается, а следовательно, отключится и двигатель. Кроме того, задается, что даже в аварийных случаях рабочий орган А не должен перемещаться вправо за отметку конечного выключателя КВ. Если, например, приварились контакты контактора Л или выключателя ПВ, или разрушилась его механическая часть и кулачок К не может отключить этот выключатель, то отключится аварийный конечный выключатель КВ, и рабочий орган А будет остановлен. Принцип пути широко применяется при управлении многодвигательным приводом станков, автоматических линий, транспортных устройств т. д.

4. Кроме того, управление многодвигательными приводами может быть выполнено с помощью реле времени, когда необходима временная последовательность включения электродвигателей (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Последовательность включения электродвигателей

Тактограмма работы системы по тактам		
1 такт	2 такт	3 такт
M1	M1, M2	M1, M2, M3

Рассмотрим работу такой схемы временного управления (рисунок 6.5). Тактограмма работы системы изображена на рисунке 6.4.

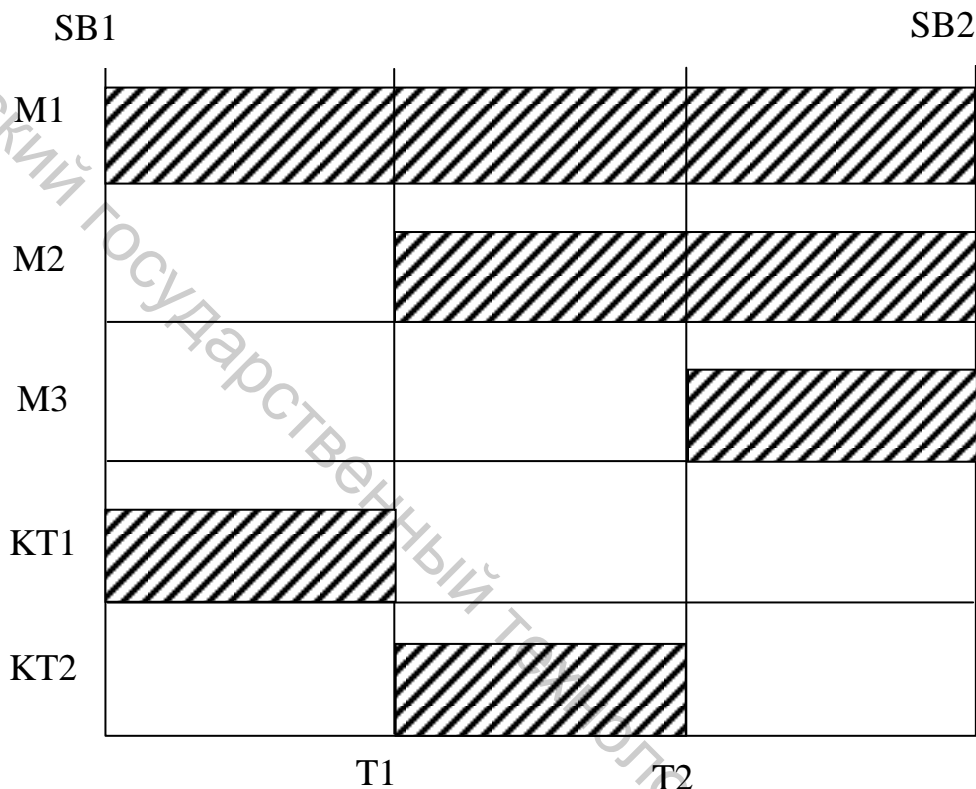


Рисунок 6.4 – Тактограмма работы схемы

По нажатию кнопки SB1 система подключается к питанию, и происходит запуск работы системы по заданной тактограмме. Схема содержит два реле времени KT1 и KT2. Срабатывание контактных групп данного типа реле происходит с некоторой задержкой времени, на которую предварительно настроено соответствующее реле времени. Цепи питания содержат систему защиты от коротких замыканий и перегрузок, состоящую из:

- 1) автоматического выключателя SF1;
- 2) плавких предохранительных вставок FU1, FU2.

Отключение схемы производится по нажатию кнопки SB2.

Учитывается, что кнопки SB1 и SB2 с самовозвратом. При разработке схем использовались как нормально замкнутые контакты, так и нормально разомкнутые.

Схема работает следующим образом (в соответствии с тактограммой на рисунке 6.4).

При нажатии SB1 к питанию подключаются катушки реле KM1 и KT1. Контакт KM1.1 шунтирует кнопку SB1, при этом при отпускании SB1 цепь остается под питанием. Контакт KM1.2 подключает двигатель M1 к питанию. Реле времени начинает отсчет времени t_1 . Через t_1 замыкается контакт KT1.1 и подключает к питанию катушку реле KM2. Контакт KM2.1 подключает к питанию катушку реле времени KT2, которое начинает отсчет времени t_2 . Контакт KM2.2 подключает двигатель M2 к питанию. Через время t_2 замыкается контакт KT2.1 и подключает к питанию катушку реле KM3. Контакт KM3.1 подключает двигатель M3 к питанию. Все три двигателя вращаются. При нажатии на кнопку SB2 цепь отключается от питания, и все контакты возвращаются в исходное положение.

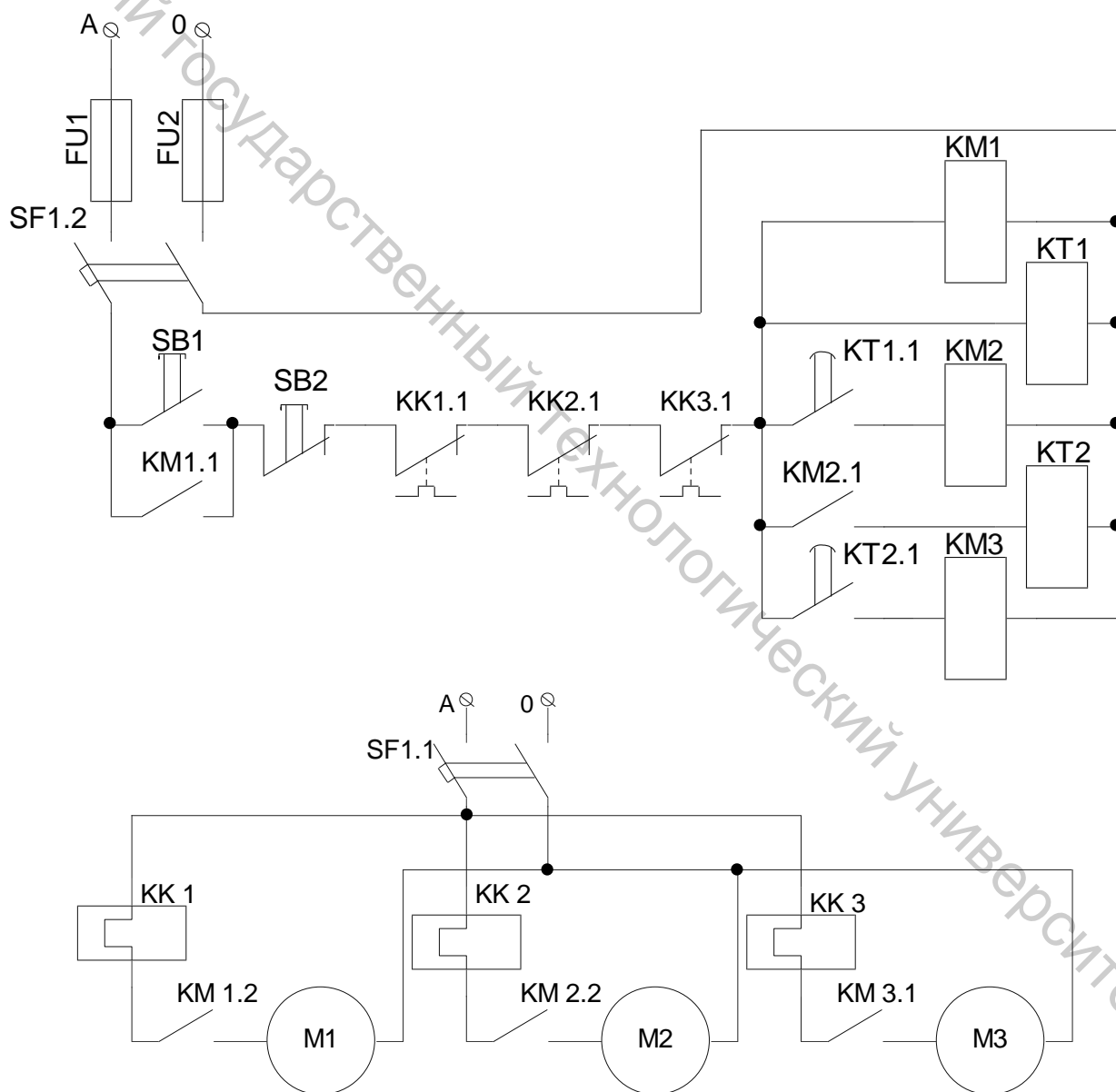


Рисунок 6.5 – Схема управления по функции времени

Пример построения последовательности вкл 1-2-3 выкл 3-2-1 представлен на рисунке 6.6.

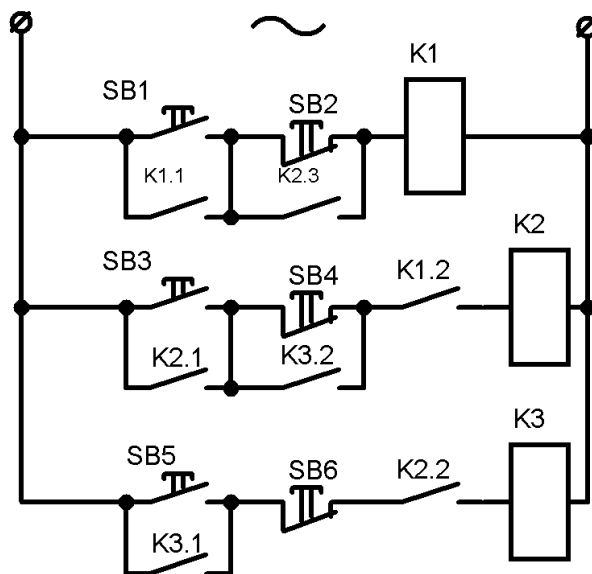


Рисунок 6.6 – Схема на релейно-контактных элементах

Кнопки SB1, SB3, SB5 предназначены для пуска, соответственно 1-го, 2-го и 3-его двигателей.

Кнопки SB2, SB4, SB6 – для останова 1-го, 2-го и 3-его двигателей.

В начальный момент времени все двигатели выключены, т.е. не подается питание на катушки реле K1, K2, K3.

При нажатии пусковых кнопок возможно включение только K1, т.к. включение K2 заблокировано нормально разомкнутой контактной группой K1.2, а K3 – K2.2. Это позволяет организовать последовательность включения – сначала можно включить K1, после этого K2 и затем K3.

Контактные группы K1.1, K2.1, K3.1 шунтируют кнопки пуск при подключении к питанию соответствующей катушки реле.

При отключении, кнопки стоп SB2, SB4 шунтированы K3.2, K2.3. Это позволяет реализовать последовательность выключения – сначала можно выключить только K3, после этого K2 и только затем K1.

Основным элементом рассмотренных схем являются электромагнитные реле. Рассмотрим их устройство и принцип действия.

Электромагнитные реле предназначены для коммутации электрических цепей устройств электроавтоматики. Различают реле постоянного тока и переменного тока. На рисунке 6.7 показано устройство реле постоянного тока.

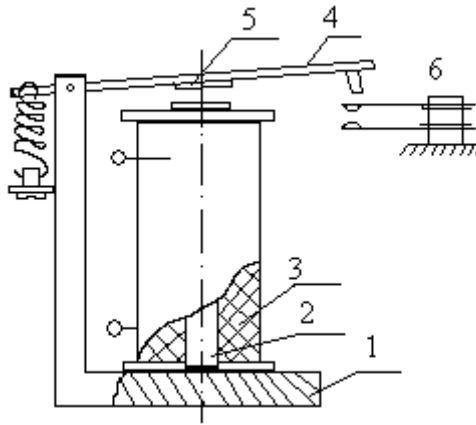


Рисунок 6.7 – Устройство реле постоянного тока:

- 1 – корпус; 2 – сердечник; 3 – обмотка; 4 – якорь; 5 – штифт отлипания;
6 – контактные пружины; 7 – возвратная пружина

При прохождении по обмотке тока возбуждается магнитный поток, который, проходя по магнитопроводу, замыкается через воздушный зазор. В этом случае якорь притягивается к сердечнику, что приводит к замыканию или размыканию соответствующих контактов.

Наиболее важными параметрами электромагнитных реле являются: токи срабатывания $I_{ср}$ и отпускания $I_{отп}$, коэффициент запаса $K_з = \frac{I}{I_{ср}}$, коэффициент возврата $K_в = \frac{I_{отп}}{I_{ср}}$, время срабатывания $t_{ср}$ и время отпускания $t_{отп}$. На рисунке 6.8 показаны закономерности изменения тока в обмотке реле при его включении (кривая 1) и выключении (кривая 2).

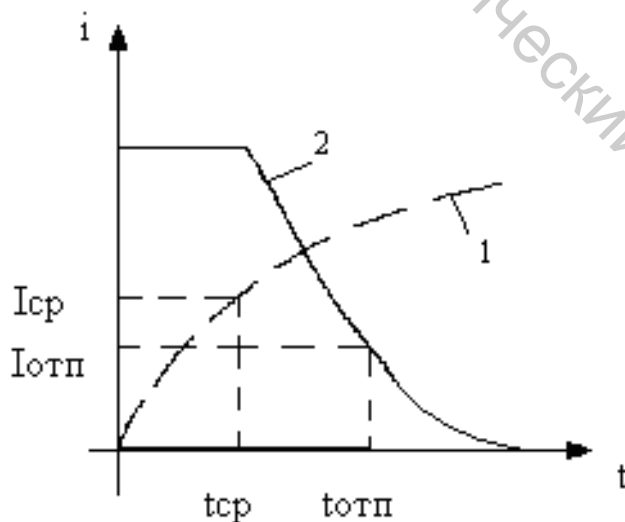


Рисунок 6.8 – График переходного процесса работы реле постоянного тока

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему управления тремя двигателями (рисунок 6.5 без тепловых реле – КК) и дать проверить ее преподавателю, после чего можно включить и убедиться в последовательности запуска двигателей.

2. Заменяв нормально открытые контакты на нормально закрытые (по указанию преподавателя), включить схему и убедиться в нарушении первоначальной последовательности работы электродвигателей. Объяснить, чем обеспечивается данный порядок работы двигателей.

Контрольные вопросы

1. Описание работы схемы исходной и измененной.
2. Что такое электромагнитное реле, каков принцип его действия?
3. В чем отличие электромагнитного реле от магнитных пускателей, контакторов?
4. Назвать и дать краткую характеристику принципов управления многодвигательными системами.
5. Виды реле, их назначение.
6. Основные параметры реле и принцип работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия дроссельного магнитного усилителя (МУ). Ознакомиться с назначением обратной связи и ее действием в магнитном усилителе. Научиться снимать основные характеристики МУ и определять коэффициенты усиления.

Основные теоретические сведения

В системах автоматики усилители применяют для усиления мощности сигналов датчиков, как правило, недостаточных по мощности для приведения в действие исполнительных элементов. В некоторых случаях одновременно с усилением входного сигнала в усилителе осуществляется и его качественное преобразование: постоянный ток преобразуется в переменный, переменный – в постоянный и т. д. В зависимости от вида энергии вспомогательного источника усилители делятся на электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные. Рассмотрим устройство и принцип действия одного из электрических усилителей – дроссельного магнитного усилителя (МУ), который представляет собой катушку индуктивности с ферромагнитным

сердечником и дополнительной управляющей обмоткой W_y , позволяющей изменять индуктивность основной (рабочей) обмотки W_p за счет подмагничивания материала сердечника при протекании по управляющей обмотке постоянного тока I_y (рисунок 7.1).

Нагрузка усилителя R_n подключается последовательно с рабочей обмоткой W_p к источнику переменного напряжения U_p . Входным сигналом является ток I_y и напряжение U_y . Выходным сигналом – I_p ; U_p . Основным элементом МУ является ферромагнитный сердечник, характеризующийся нелинейной кривой намагничивания $B=f(H)$ (рисунок 7.2).

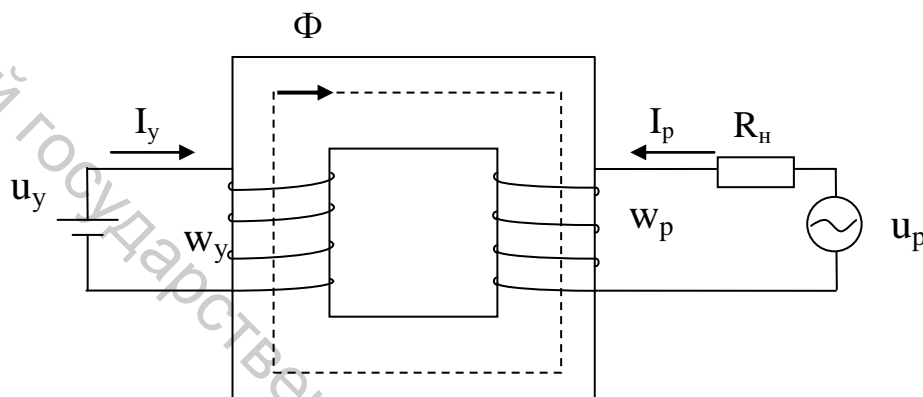


Рисунок 7.1 – Дроссельный магнитный усилитель

При отсутствии входного напряжения U_y (холостой ход) под воздействием переменного напряжения U_p в обмотке W_p будет течь синусоидальный ток I_p . Последний создаст в сердечнике синусоидальный магнитный поток Φ_{\sim} , а следовательно, и магнитную индукцию B_{\sim} (рисунок 7.2). Проектируя значение индукции на кривую намагничивания, находим изменения напряженности поля $H_{0\sim}$.

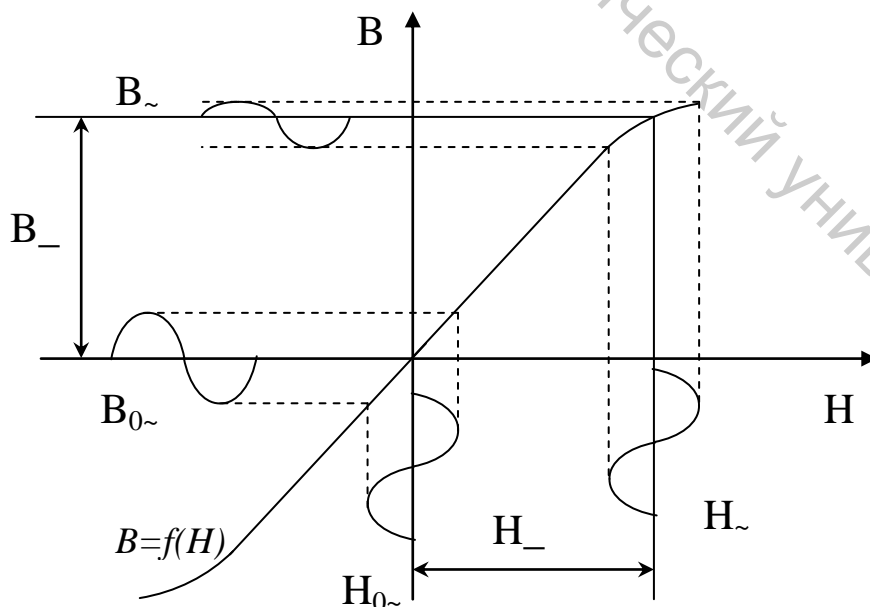


Рисунок 7.2 – Кривая намагничивания

Очевидно, что амплитуда напряженности $H_{0\sim}$ будет в этом случае тем меньше, чем круче кривая намагничивания материала сердечника. При подаче на вход напряжения U_y последнее вызовет в обмотке W_y постоянный ток I_y . Этот ток обусловит появление постоянного магнитного поля напряженностью H_{\sim} и индукцией B_{\sim} . Постоянное и переменное магнитные поля суммируются, в результате рабочая точка переместится в область нелинейного участка кривой намагничивания на величину B_{\sim} .

Построив для этого случая кривую изменения напряженности H_{\sim} , видим, что ее значение стало больше, чем в режиме холостого хода. Рассмотренное изменение магнитного состояния сердечника можно оценить соответствующим измерением его магнитной проницаемости:

$$\mu_{\sim} = \frac{B_{\sim}}{\mu_0 \cdot H_{\sim}}. \quad (7.1)$$

Очевидно, в первом случае магнитная проницаемость была выше, чем во втором. Подача управляющего сигнала U_y привела к уменьшению индуктивности рабочей обмотки:

$$L_p = \frac{W_p^2 \cdot S}{\mu_0 \cdot \mu_{\sim}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-5} \cdot W_p^2 \cdot S}{L} \cdot \mu_{\sim} = \kappa \cdot \mu_{\sim}, \quad (7.2)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-5}$ – магнитная проницаемость вакуума;

S – площадь сечения сердечника;

L – длина средней силовой линии.

Соответственно, уменьшению индуктивности L_p , уменьшится индуктивное сопротивление рабочей обмотки $X_L = \omega \cdot L_p$, а значение тока, протекающего в рабочей цепи, увеличится:

$$I_p = \frac{U_p}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}. \quad (7.3)$$

Таким образом, подав на вход усилителя сигнал U_y , получим изменение тока в цепи нагрузки I_p как результат последовательных преобразований, происходящих в МУ. Эту цепь преобразований можно условно представить в следующем виде:

$$I_y \uparrow \rightarrow H_{\sim} \uparrow \rightarrow H_{\sim} \uparrow \rightarrow \mu_{\sim} \downarrow \rightarrow L_p \downarrow \rightarrow X_L \downarrow \rightarrow Z_p \downarrow \rightarrow I_p \uparrow.$$

Рассмотренный дроссельный МУ является простейшим и имеет следующие недостатки:

1. Переменный магнитный поток Φ_{\sim} , создаваемый рабочим током, индуцирует в управляющей обмотке переменную ЭДС (как во вторичной

обмотке трансформатора), в результате чего в управляющей цепи МУ протекает переменный ток, что приводит к искажению формы входного сигнала .

2. Характеристика такого усилителя нелинейно и симметрично не реверсивна. Такой усилитель изменяет амплитуду тока в нагрузке, но фаза тока остается постоянной.

3. Наличие тока холостого хода снижает КПД усилителя.

Для устранения этих недостатков применяют более сложные схемы МУ.

Одним из достоинств магнитного усилителя является высокая стабильность характеристики «вход-выход» $I_p = f(I_y)$. Это позволяет вводить в МУ обратную связь, которая подает часть выходного сигнала на вход (рисунок 7.5). Обратная связь (ОС) в МУ создается дополнительным подмагничиванием материала сердечника. Для этого на сердечник наматывается дополнительная обмотка обратной связи $W_{o.c.}$, включенная последовательно с рабочей обмоткой и нагрузкой. Чтобы получить эффект подмагничивания, обмотка $W_{o.c.}$ включена через выпрямительный мост, т.к. выходной ток МУ переменный. Выпрямленный ток $I_{o.c.}$ протекает по обмотке и создает магнитный поток обратной связи, направление которого постоянно и зависит от полярности тока $I_{o.c.}$.

Если магнитные потоки обратной связи и управления одного направления, то обратная связь будет положительной; если они направлены встречно (вычитаются), то обратная связь – отрицательна. Характеристика «вход – выход» МУ с обратной связью несимметрична.

Порядок выполнения работы

1. На рисунке 7.3 приведена схема дроссельного магнитного усилителя.

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

Данные опыта занести в таблицу 7.1

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

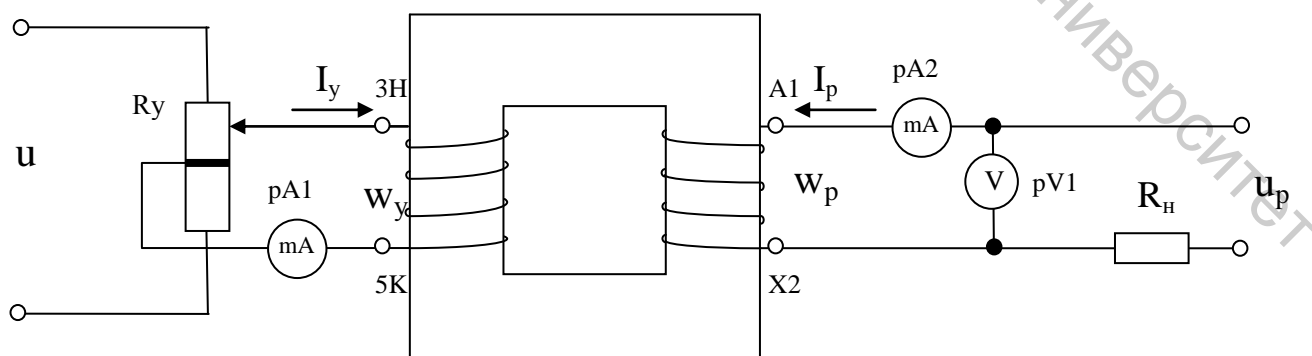


Рисунок 7.3 – Лабораторная схема дроссельного магнитного усилителя

Таблица 7.1

$I_y, \text{мА}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$I_n, \text{мА}$								
$U, \text{В}$								
$Z, \text{Ом}$								

2. Собрать схему (рисунок 7.4). Снять характеристику «вход – выход» ($I_n = f(I_y)$) для дроссельного магнитного усилителя.

Изменяя величину тока управления I_y от -7мА до $+7\text{мА}$, измерить величину рабочего тока I_p в рабочей цепи. Данные опыта занести в таблицу 7.2 и построить характеристику «вход – выход».

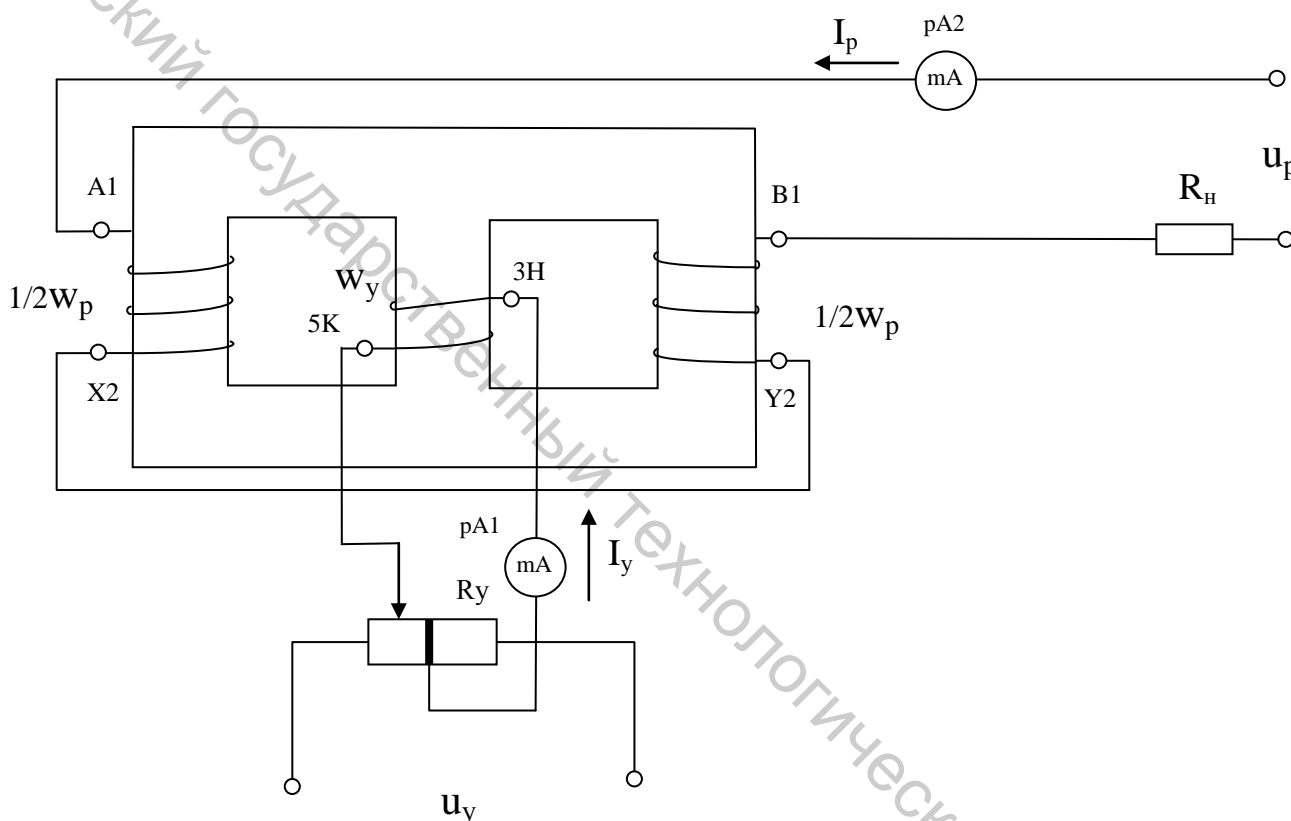


Рисунок 7.4 – Лабораторная схема симметричного магнитного усилителя

Таблица 7.2

$I_y, \text{мА}$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
$I_n, \text{мА}$															

3. Собрать схему рисунке 7.5. Снять характеристику «вход – выход» $I_n = f(I_y)$ для дроссельного МУ с обратной связью. Изменяя ток управления I_y от $+7\text{мА}$ до 0, измерить величину рабочего тока I_p для случая положительной обратной связи; изменяя I_y от -7мА до 0, измерить величину рабочего тока I_p для случая отрицательной обратной связи.

Данные опыта занести в таблицу 7.3; по результатам опыта построить характеристику «вход – выход».

Таблица 7.3

$I_y, \text{мА}$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
$I_n, \text{мА}$															

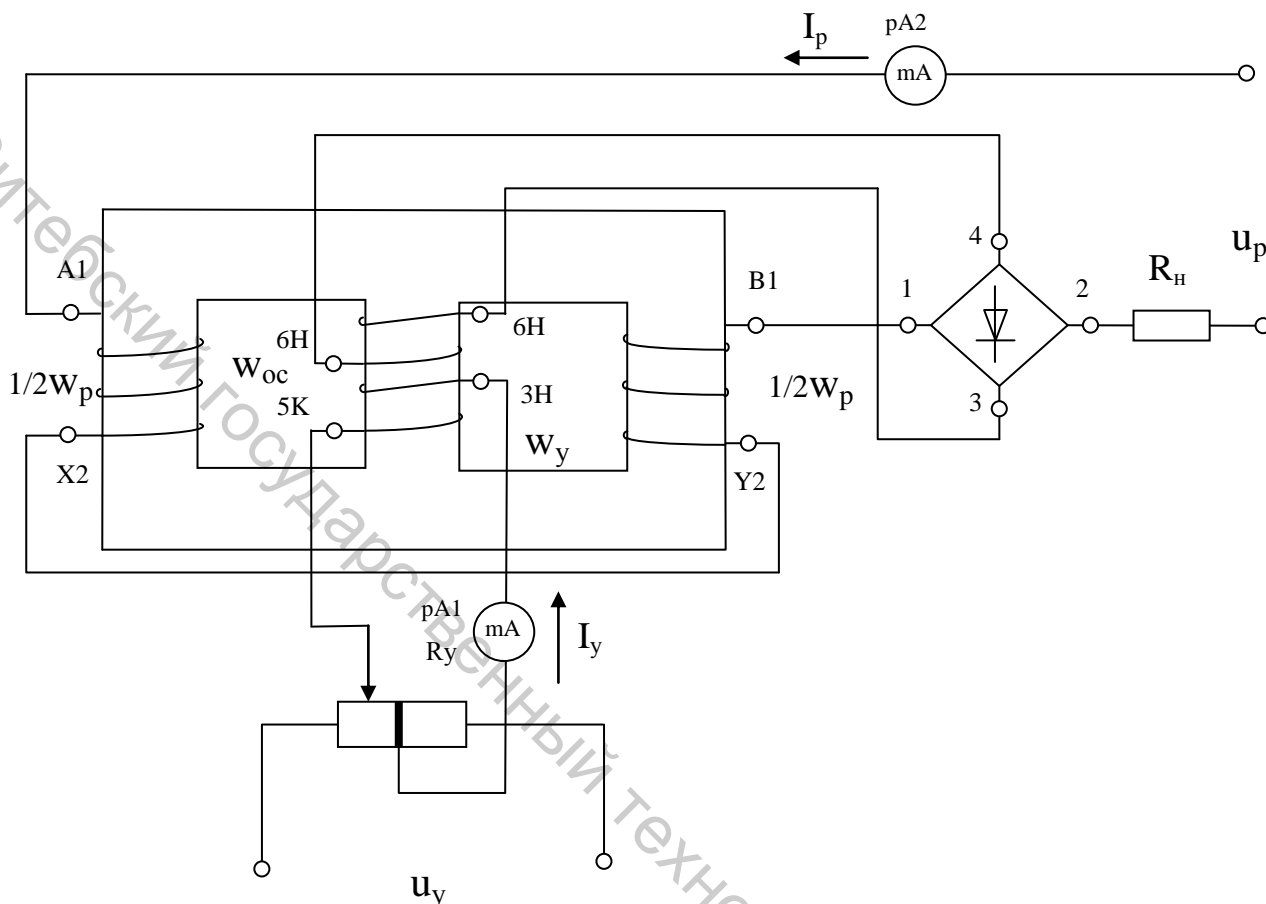


Рисунок 7.5 – Лабораторная схема магнитного усилителя с обратной связью

Пользуясь данными таблиц 7.2 и 7.3 и учитывая, что $R_n = 200 \text{ Ом}$, а $R_y = 400 \text{ Ом}$, рассчитать коэффициент усиления:

- по току $K_i = \frac{\Delta I_n}{\Delta I_y}$;
- по напряжению $K_u = \frac{\Delta U_p}{\Delta U_y} \cdot \frac{R_n}{R_y} = K_i \cdot \frac{R_n}{R_y}$;
- по мощности $K_p = \frac{\Delta P^2}{\Delta U_y^2} \cdot \frac{R_n}{R_y} = K_i \cdot K_u$.

Для случаев, когда обратная связь отсутствует, ОС положительная, ОС отрицательная. Данные занести в таблицу 7.4

Таблица 7.4 – Коэффициент усиления ЭМУ

K	K_i	K_u	K_p
Без ОС			
ОС положительная			
ОС отрицательная			

Контрольные вопросы

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ГРАДУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЛАГОМЕРА

Цель работы: Ознакомиться с методами и приборами, применяемыми для измерения влажности. Научиться тарировать электровлагомер (снимать градуировочную кривую).

Основные теоретические сведения

Электрические методы оценки влажности материалов вследствие их простоты, малых затрат времени в процессе измерений нашли применение во многих отраслях легкой промышленности.

По принципу действия и в зависимости от измеряемого электрического параметра материала электрические влагомеры делят на две группы. В приборах первой группы оценка влажности материала производится по результатам измерения электрической проводимости или сопротивления. Приборы этой группы называются электровлагомерами сопротивления или кондуктометрическими электровлагомерами. Электровлагомер сопротивления представляет собой сочетание датчика и измерителя больших сопротивлений. От датчика требуется точное воспроизведение условий измерений в каждом опыте, для чего необходимо обеспечить надежное соприкосновение электродов датчика с материалом. В приборах второй группы оценка влажности материала производится по результатам измерения диэлектрической проницаемости. Приборы этой группы называют емкостными электровлагомерами.

Принцип действия емкостного электровлагомера основан на различии величин диэлектрической проницаемости сухого материала и влаги. При использовании такого метода измерения проводятся на переменном токе высокой частоты, в результате измерения определяется емкостное сопротивление датчика. Измерительное устройство емкостного влагомера сложнее влагомера сопротивления.

Конструктивное оформление датчика тесно увязывается со свойствами контролируемого материала. Так, для тканей нашли применение датчики в форме роликов, между которыми располагается материал, для кож - игольчатые датчики, вкалываемые в материал показано на рисунке 8.1.



Рисунок 8.1 – Датчики: а – роликовые, б – игольчатые

Рассмотрим устройство и работу измерительной схемы влагомера сопротивления типа ЭВ- 2К.

Прибор на рисунке 8.2 состоит из стабилизированного блока питания (1) измерительного устройства (2). Стабилизированный блок питания включает понижающий трансформатор Tr1, выпрямитель на диодах D₁ и D₂, сглаживающий конденсатор и параметрический стабилизатор напряжения, образованный резистором R₅ и стабилитронами D₃ и D₄. На выходе блока питания включен переменный резистор R₇, служащий для регулировки напряжения питания.

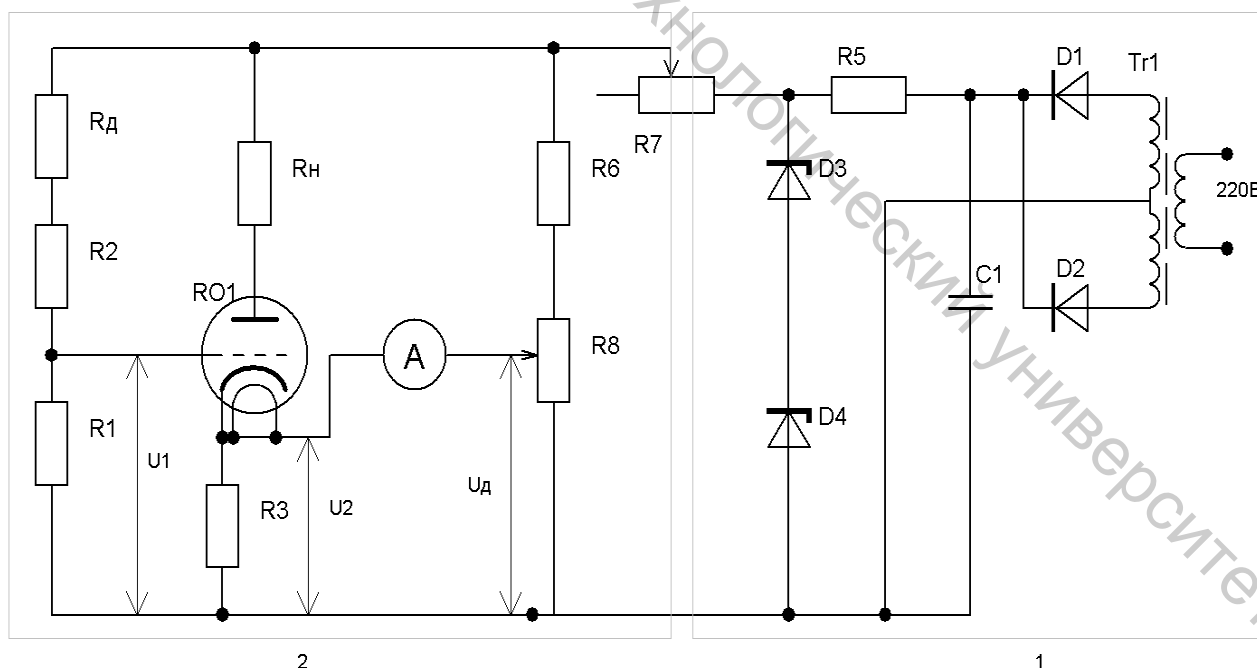


Рисунок 8.2 – Измерительная схема влагомера сопротивления типа ЭВ- 2К

Измерительное устройство содержит основной делитель напряжения на резисторах R_D ; R_1 ; R_2 , усилитель постоянного тока, выполненный на лампе R_{01} , и вспомогательный делитель напряжения на резисторах R_6 ; R_8 . Между катодом лампы и движком переменного резистора R_8 включен измерительный прибор A . Вспомогательный делитель напряжения служит для установки стрелки измерительного прибора на НШ при настройке прибора, перемещением подвижного контакта резистора R_8 .

При изменении влажности исследуемого материала, изменяется сопротивление датчика R_D . Т. к. датчик включен в цепь основного делителя напряжения, то изменение величины R_D приведет к изменению выходного напряжения U_1 , подводимого к управляющей сетке лампы R_{01} . Изменение U_1 приводит к изменению анодного тока I_A и, соответственно, напряжения U_2 на катодном сопротивлении R_3 . Неравенство напряжения U_2 и U_D приводит к появлению разности напряжений $\Delta U = U_2 - U_D$ на зажимах A . Через измерительный прибор при этом течет ток $I_{ип} = \Delta U / R_{ип}$, что вызывает отклонение стрелки на величину $\alpha = k I_{ип}$. Поскольку изменение тока $I_{ип}$ пропорционально сопротивлению датчика, то шкалу прибора можно отградуировать в единицах влажности исследуемого материала, т.е. каждому значению тока поставить в соответствие определенное значение влажности.

Порядок выполнения работы

1. Включить электровлагомер в электрическую сеть и подготовить его к работе. Перед измерениями выверить края шкалы прибора: рукояткой «Установка НШ» при свободном датчике установить стрелку прибора на отметку «Н» (только на первом диапазоне $0 \dots +22$). Рукояткой «Установка КШ» при нажатой кнопке установить стрелку прибора на отметку «КШ».

2. Произвести градуировку электровлагомера, для чего:

3. образец взвесить на аналитических весах;

4. снять показания электровлагомера (образец прокалывается датчиком последовательно в трех местах и определяется среднее показание);

5. поместить исследуемый образец в сушильный шкаф и выдержать в течение $25+30$ сек.

6. Измерения по пункту 2 последовательно повторить 4-5 раз до полного высушивания образца.

7. Влажность определяется выражением:

$$W = \frac{m - m_0}{m}, \quad (8.1)$$

где m – масса влажного материала;

m_0 – масса сухого материала.

8. Данные градуировки занести в протокол градуировки и, взяв среднеарифметическое результатов измерения влажности образцов, построить градуировочную кривую влагомера $W = f(n)$ (таблица 8.1).

Протокол градуировки
 Электровлагомер типа _____ для материала _____
 при температуре окружающей среды _____

Таблица 8.1 – Результаты измерений

№ образца	Масса влажного материала		Масса сухого материала	Влажность по весовому методу, %	Показания электровлагомера			
					1	2	3	среднее
1	Исходная							
	После первой подсушки							
	После второй подсушки							
	После третьей подсушки							
2	Исходная							
	После первой подсушки							
	После второй подсушки							
	После третьей подсушки							

Контрольные вопросы

1. Методы измерения влажности.
2. Кондуктометрический метод измерения влажности.
3. Емкостные электровлагомеры и принцип их действия.
4. Пояснить схему и принцип действия электровлагомера ЭВ-2К.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы: Ознакомление с устройством и принципом действия импульсного регулятора с ПИД законом регулирования. Определение показателей качества по графику переходного процесса.

Основные теоретические сведения

Основным блоком конструкции прессов, широко распространенных в легкой промышленности и предназначенных для выполнения операций вулканизации, формования, влажно-тепловой обработки, дублирования и т.п. является плита с электронагревательными элементами. Эти пресса являются тепловыми объектами, для обеспечения температурных режимов которых используют различного рода регуляторы. Регулятор и объект образуют систему регулирования. Задача системы регулирования для большинства указанных технологических операций сводится к стабилизации температуры или изменению ее по определенному закону.

Система автоматического регулирования (САР) называется *линейной*, если все ее элементы в динамике описываются линейными уравнениями. Линейные регуляторы, в зависимости от законов регулирования, делят на пять типов:

- пропорциональный П-регулятор;
- интегральный И-регулятор;
- пропорционально-интегро-дифференциальный ПИД-регулятор;
- пропорционально-дифференциальный ПД-регулятор;
- пропорционально-интегральный ПИ-регулятор.

Законом регулирования называют функциональную связь между управляющим воздействием регулятора (его выходным сигналом) и отклонением регулируемого параметра от заданного значения (его входным сигналом).

$$U(t) = F[\Delta(t)], \quad \Delta(t) = g(t) - Y(t), \quad (9.1)$$

где $g(t)$ – заданное значение,

$Y(t)$ – текущее значение на выходе объекта управления (ОУ).

Правая часть уравнения может содержать не только отклонение $\Delta(t)$, но и его производные и интегралы. Введение производных и интегралов в закон регулирования позволяет изменять свойства САР: устойчивость, точность, качество переходного процесса.

Простейшим является (пропорциональный) *П-регулятор*, уравнение которого

$$U(t) = K_p \Delta(t), \quad (9.2)$$

а передаточная функция

$$W(p) = K_p. \quad (9.3)$$

П-регулятор является простейшим линейным статическим регулятором. Статические регуляторы не могут полностью ликвидировать отклонение параметра от заданного значения, т.е. они дают остаточную (статическую) ошибку. Регулирующий орган в системе с *П-регулятором* неподвижен, не только при ошибке, равной нулю $\Delta(t)=0$, но и при постоянной величине ошибки $\Delta(t)=const$.

Статическим является и *ПД-регулятор*, закон регулирования которого записывается следующим образом

$$U(t) = K\Delta t + \frac{T_{np} d\Delta t}{dt}, \quad (9.4)$$

где T_{np} – время предварения.

Передаточная функция *ПД-регулятора*

$$W(p) = K(1 + T_{np}p), \quad (9.5)$$

где K – параметр настройки.

ПД-регулятор называют регулятором с предварением, т.к. он реагирует на величину отклонения и скорость его изменения, т.е. регулирующий орган начинает перемещаться при изменении скорости отклонения, что увеличивает быстродействие регулятора.

Статической ошибки удастся избежать, если включить в закон регулирования интегральную составляющую или использовать *И-регулятор*. Закон регулирования *И-регулятора*

$$U(t) = \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta(t) dt, \quad (9.6)$$

а передаточная функция

$$W(p) = \frac{1}{T_u p}, \quad (9.7)$$

где T_u – время интегрирования - параметр настройки.

Переходный процесс в системе с И-регулятором носит медленно затухающий колебательный характер и снижает устойчивость САР. Регулирующий орган в такой системе неподвижен только при равенстве заданного и измеренного значения параметра, т.е. при отсутствии ошибки.

ПИ-регулятор – пропорционально-интегральный. Закон регулирования

$$U(t) = K[\Delta(t)] + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta(t) dt \quad (9.8)$$

и передаточная функция

$$W(p) = \frac{K_p (1 + T_u p)}{T_u p}, \quad (9.9)$$

где K_p – параметр настройки,

ПИ-регулятор совмещает в себе положительные свойства обоих регуляторов, т.е. является астатическим и обладает достаточным быстродействием. При появлении отклонения регулируемой величины от заданного значения такой регулятор вначале ведет себя как П-регулятор, т.е. быстро вырабатывает управляющее воздействие на ликвидацию отклонения, затем вступает в действие интегральная составляющая, сводящая ошибку к нулю.

Лучшими свойствами обладает ПИД-регулятор, закон регулирования которого

$$U(t) = K[\Delta(t)] + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta(t) dt + T_{np} \frac{d\Delta(t)}{dt}, \quad (9.10)$$

а передаточная функция

$$W(p) = \frac{(T_{np} T_u p^2 + T_u p + 1) K}{T_u p}. \quad (9.11)$$

Такой регулятор сочетает в себе положительные свойства всех более простых регуляторов, обладает высоким быстродействием, не дает остаточной ошибки, колебательный переходный процесс быстро затухает.

Система регулирования считается работоспособной, если переходный процесс в ней затухает, т.е. система является устойчивой. Однако устойчивость – недостаточный критерий оценки качества системы регулирования.

Помимо устойчивости системы к возмущениям, необходимо, чтобы переходные процессы, возникающие в автоматической системе благодаря наличию разного рода возмущающих и управляющих воздействий, удовлетворяли определенным требованиям. Требования к качеству переходного процесса в автоматической системе регулирования для различных систем различны.

Для оценки качества переходного процесса при регулировании используют прямые и косвенные методы. Прямые методы предполагают наличие, полученное тем или иным способом, графика переходного процесса. В действующих САР график изменения регулируемой величины во времени может быть получен экспериментально. Если известно дифференциальное уравнение системы, то по его решению так же может быть построен график переходного процесса.

Качество переходного процесса оценивают следующими показателями:

1. Перерегулирование

Перерегулирование характеризует максимальное динамическое отклонение регулируемой величины от установившегося значения $Y_{уст}$. (рисунок 9.1). Обычно перерегулирование выражают в процентах от значения $Y_{уст}$. Абсолютная величина ΔY_{max} определяется по графику переходного процесса:

$$\Delta Y_{max} = Y_{max} - Y_{уст} \quad (9.12)$$

Соответственно перерегулирование будет определяться выражением

$$\sigma = \frac{\Delta Y_{max}}{Y_{уст}} 100\% \quad (9.13)$$

2. Время регулирования

Время регулирования характеризует быстродействие САР и представляет собой время t_p , отсчитываемое от начала переходного процесса, по истечении которого отклонение регулируемой величины от нового установившегося значения делается меньше и будет оставаться меньше определенной заранее заданной величины Δ . Обычно принимается $\Delta = (0,01-0,05)$. Таким образом, переходный процесс в системе считается закончившимся, когда регулируемая величина начинает отличаться от своего установившегося значения не более, чем на 1...5%. Чем меньше величина t_p , тем выше быстродействие системы.

3. Степень затухания

Степень затухания характеризует колебательный переходный процесс при регулировании. Степень затухания определяют по формуле

$$\psi = \frac{\Delta Y_{max} - \Delta Y_2}{\Delta Y_{max}} \quad (9.14)$$

Для устойчивой САР $0 < \Psi \leq 1$, чем ближе Ψ к единице, тем быстрее затухает переходный процесс, следовательно, тем больше запас устойчивости. Например, при $\Psi = 0,9$ каждая последующая амплитуда колебаний меньше предыдущей в 10 раз.

Колебательный переходный процесс можно оценивать и числом колебаний за время регулирования.

Обычно считают, что число колебаний не должно быть больше двух или трех.

4. Остаточная (статическая) ошибка

Остаточная (статическая) ошибка – характеризует точность системы и определяет отклонение регулируемого параметра от нового установившегося значения после завершения переходного процесса. Статическая ошибка возникает в системах со статическим регулятором.

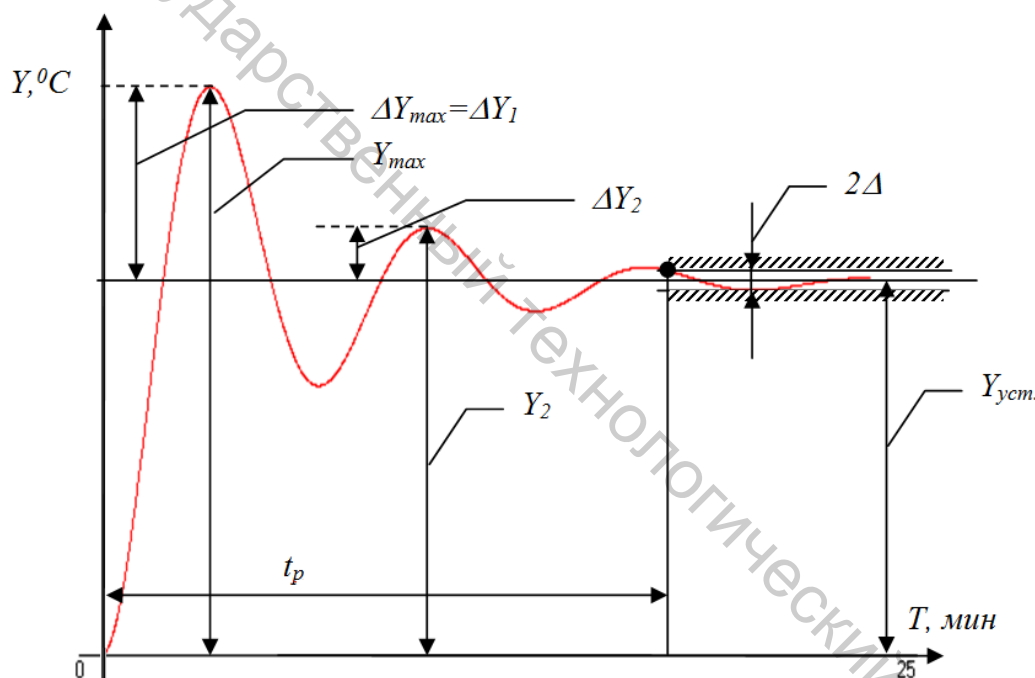


Рисунок 9.1 – График переходного процесса

При выборе типа регулятора и параметров его настройки учитывают свойства объекта и ограничения на качественные показатели.

Всегда целесообразно ориентироваться на простые регуляторы. По величине отношения времени запаздывания τ к постоянной времени объекта T можно рекомендовать: при $\tau/T < 1$ – регулятор линейный, при $\tau/T > 1$ – импульсный регулятор, при $\tau/T < 0,2$ – регулятор импульсного действия (позиционный).

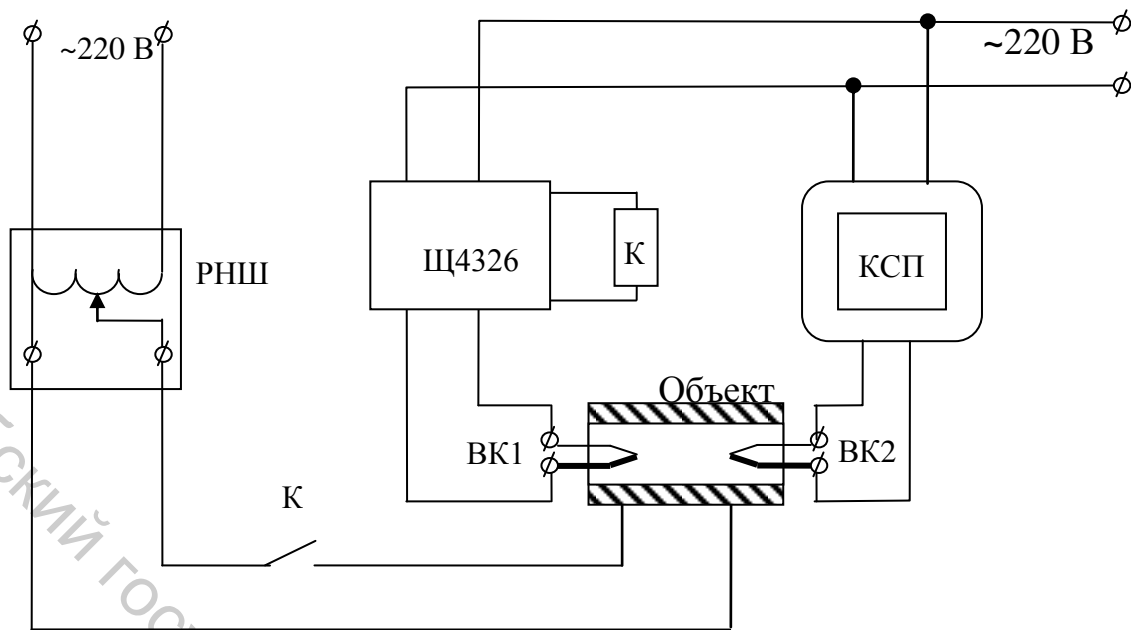


Рисунок 9.2 – Схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

Ознакомьтесь со схемой лабораторной установки (рисунок 9.2) и принципом действия основных блоков регулятора Ш4526 (рисунок 9.3).

Подготовить к работе электронный автоматический потенциометр КСП-4 и регулятор Ш4526, включить их согласно схеме (рисунок 9.2) для прогрева на 1,5 – 2 мин.

Установить реохорд задания температуры на значение $Y_{зад}=120^{\circ}C$, регулятор коррекции обратной связи на деление 5.

Подать на объект напряжение $U=60V$ и снять график переходного процесса.

По полученному графику переходного процесса определить показатели качества: перерегулирование σ , время регулирования t_p , степень затухания Ψ , колебательность n . Данные свести в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Прямые показатели качества

$T, \text{ мин}$	$\tau, \text{ мин}$	τ/T	$\Delta Y_{\max}, ^{\circ}C$	$\sigma, \%$	Ψ	$t_p, \text{ мин}$	n

Контрольные вопросы

1. Какая САР называется линейной?
2. Что называется законом регулирования?
3. Назовите типы линейных регуляторов, запишите их передаточные функции, объясните их особенности, достоинства и недостатки.
4. Показатели качества регулирования, их определение.
5. Объяснить устройство и принцип действия регулятора Ш4526.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы: Научиться снимать динамические характеристики объектов, определять тип модели (вид уравнения), коэффициенты модели и передаточную функцию.

Основные теоретические сведения

При математическом описании (идентификации) любого объекта управления его поведение можно рассматривать в условиях статики (установившиеся режимы работы) и динамики (переходные режимы). Для условий статики все возмущающие воздействия « f » и все управляющие « u » считаются постоянными величинами, не зависящими от времени. *Статические режимы* описываются алгебраическими уравнениями, связывающими регулируемые (выходные) параметры « y » с входными воздействиями « f » и « u ».

$$y = \varphi(f, u). \quad (10.1)$$

где φ – некоторая векторная функция не зависящих от времени « f » и « u ».

Графическое представление зависимости $y = \varphi(f, u)$ называют статическими характеристиками управления $y = \varphi(u)$ и возмущения $y = \varphi(f)$.

Динамические режимы описываются обычно дифференциальными или интегрально-дифференциальными уравнениями, определяющими зависимость $y(t)$ от изменения воздействий $f(t)$ и $u(t)$.

$$y = \varphi(u, f, t). \quad (10.2)$$

Различают объекты с *самовыравниванием* (устойчивые), без *самовыравнивания* (нейтральные) и неустойчивые. Объект устойчив, если после кратковременного внешнего воздействия он с течением времени стремится к исходному состоянию. Нейтральными называются такие объекты, которые по окончании воздействия стремятся к новому состоянию равновесия, зависящему от величины воздействия. Если управляемая координата $Y(t)$ после прекращения воздействия продолжает изменяться, то объект называют неустойчивым.

Для составления математической модели объекта используют аналитические и экспериментальные методы.

При аналитическом методе составляются уравнения динамики объекта на основе физических законов, определяющих процессы, происходящие в объекте (например, закон сохранения вещества или энергии, закон Кирхгофа и

т.п.). Математические выражения соответствующих физических законов, характеризующих поведение объекта, и являются дифференциальными уравнениями, описывающими динамику объекта управления.

При аналитическом методе идентификации приходится прибегать в большинстве случаев к идеализации сложных реальных процессов и считать, что объекты обладают детектируемыми (однонаправленными) свойствами. Поэтому аналитические методы позволяют лишь приближенно оценить динамические свойства реального объекта.

Экспериментальных методов идентификации много, рассмотрим простейшие из них. Для экспериментального определения модели объекта можно использовать временные или частотные динамические характеристики.

Временные динамические характеристики представляют собой графики изменения во времени регулируемого (выходного) параметра объекта в зависимости от вида входного воздействия (испытательного воздействия). При подаче в качестве испытательного воздействия дельта-функции $\delta(t)$ (единичного импульса) получаем импульсную переходную характеристику; уравнение, описывающее эту кривую, называют функцией веса $\omega(t)$. При подаче на вход объекта единичного ступенчатого воздействия $I(t)$ (единичного скачка), получаем переходную характеристику, ее уравнение – переходная функция $h(t)$. Или иначе: реакция объекта на единичный импульс называется функцией веса $\omega(t)$, а на единичный скачок – переходной функцией $h(t)$. Достоинство временных характеристик – простота постановки эксперимента. С помощью временных характеристик наиболее просто определяются передаточные функции первого и второго порядка.

Идентификация объекта по частотным характеристикам предпочтительнее, т. к. позволяет найти модель и нелинейного объекта, однако требуется более сложный эксперимент. Частотные характеристики показывают изменение модуля и фазы комплексного коэффициента передачи объекта при изменении частоты $0 < \omega < \infty$.

Математическую модель объекта по экспериментально снятым динамическим характеристикам определяют достаточно просто:

- по виду графика динамической характеристики, сравнивая его с графиком соответствующей динамической характеристики типовых звеньев, определяют уравнение динамической характеристики, тип дифференциального уравнения динамики объекта;

- по динамической характеристике определяют коэффициенты дифференциального уравнения и передаточную функцию объекта.

Затем определяют адекватность модели. Математическая модель считается адекватной, если значение параметра на выходе объекта совпадает со значениями, рассчитанными по модели.

Постановка эксперимента по снятию временных динамических характеристик

Если экспериментальные исследования проводятся на действующем промышленном объекте, то целесообразно снять импульсную переходную характеристику, т.к. это не вызовет существенного изменения технологических переменных. В остальных случаях можно снимать переходную характеристику. Для записи изменения выходного параметра во времени необходим записывающий вторичный прибор, к которому подключается датчик (первичный преобразователь).

Если снимается временная динамическая характеристика теплового объекта, то выходным параметром является температура. Возмущающее воздействие для теплового объекта с электрообогревом можно создать изменением напряжения, подаваемого на нагревательный элемент.

Для снятия импульсной переходной характеристики необходимо резко увеличить напряжение на некоторую величину и через некоторое время (выбирается в зависимости от свойств объекта) снова снизить его до первоначального уровня. Реакция на импульс для инерционного объекта будет иметь следующий вид (рисунок 10.1):

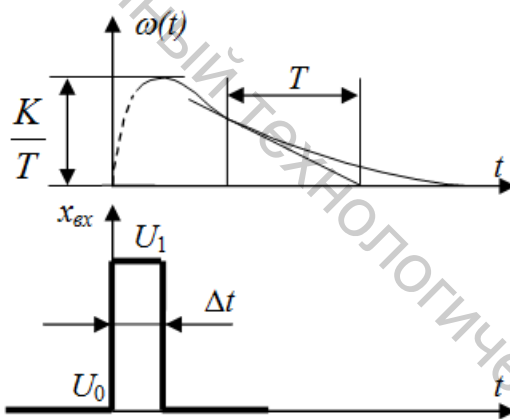


Рисунок 10.1 – График импульсной переходной характеристики

На рисунке:

- K – коэффициент передачи;
- T – постоянная времени, оценивает инерционные свойства объекта и показывает, за какое время закончился бы переходный процесс, если бы он шел с постоянной скоростью. Практически же переходный процесс заканчивается за время, равное $t = (3 \div 4)T$.

Для снятия переходной характеристики теплового объекта необходимо резко изменить (увеличить) напряжение, подаваемое на нагревательный элемент, т. е. изменять входной сигнал в виде ступеньки.

Реакция на единичное ступенчатое воздействие и есть переходная характеристика для инерционного объекта (рисунок 10.2).

Коэффициент передачи K определяется следующим образом:

$$K = \frac{\theta_{уст.} [C]}{U [B]} = \frac{\theta(\infty) [C]}{U [B]} \quad (10.3)$$

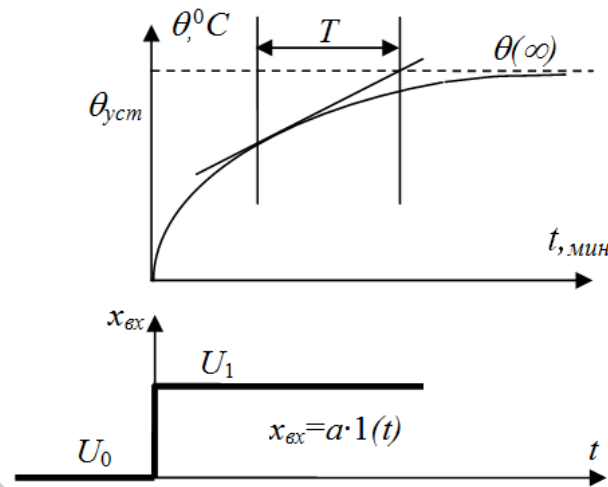


Рисунок 10.2 – График переходной характеристики для инерционного объекта

Постоянная времени T может быть определена:

- 1) по реакции подкасательной на линию установившихся значений (касательная может проводиться в любой точке) – если кривая – экспонента (рисунок 10.2);
- 2) по проекции подсекущей на линию установившегося значения (рисунок 10.3).

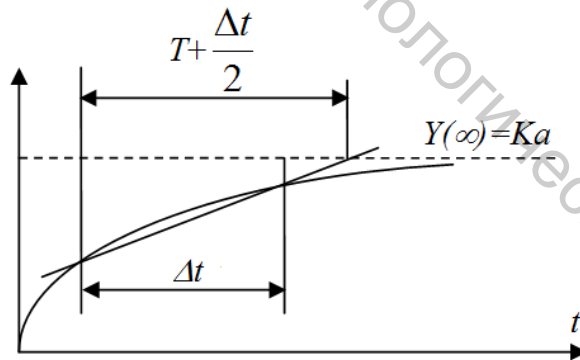


Рисунок 10.3 – Получение T методом подсекущей

Если $Y(t)$ не имеет точек перегиба и представляет собой экспоненту, то исследуемый объект управления является инерционным первого порядка и уравнение имеет вид:

$$Y(t) = h(t) = Kx_{вх} \cdot \left[1 - e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (10.4)$$

При $t=T$:

$$h(t) = Kx_{ex} \cdot \left[1 - e^{-\frac{t}{T}} \right] = Kx_{ex} \cdot (1 - e^{-1}) = Kx_{ex} \cdot (1 - 0,368) = Kx_{ex} \cdot 0,632, Kx_{ex} = x_{уст} \quad (10.5)$$

Согласно уравнению переходной характеристики, за время, равное T , переходный процесс заканчивается на 0,63 своего установившегося значения (рисунок 10.4).

После завершения переходного процесса на выходе объекта управления установившееся значение: $Kx_{ex} = h(\infty) = Y(\infty)$.

Следовательно, если нет запаздывания, то постоянную времени можно определить и таким образом: $Y(\infty) = Kx_{ex}$.

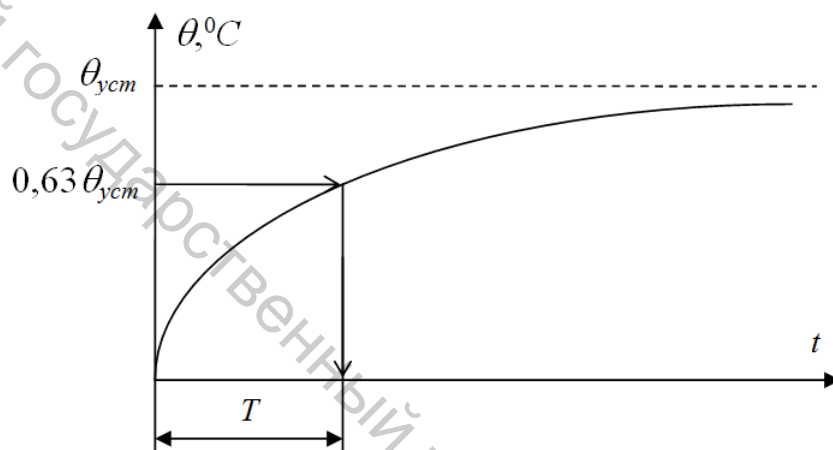


Рисунок 10.4 – График переходного процесса при $t=T$

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему лабораторной установки, изображенной на рисунке 10.5.
2. Снять переходную характеристику, для чего на объект подать напряжение 36В (подключить нагревательный элемент к сети).
3. Определить математическую модель объекта регулирования, сравнивая полученную переходную характеристику с характеристиками типовых звеньев.
4. Определить коэффициенты модели T и K и передаточную функцию $W(p)$.

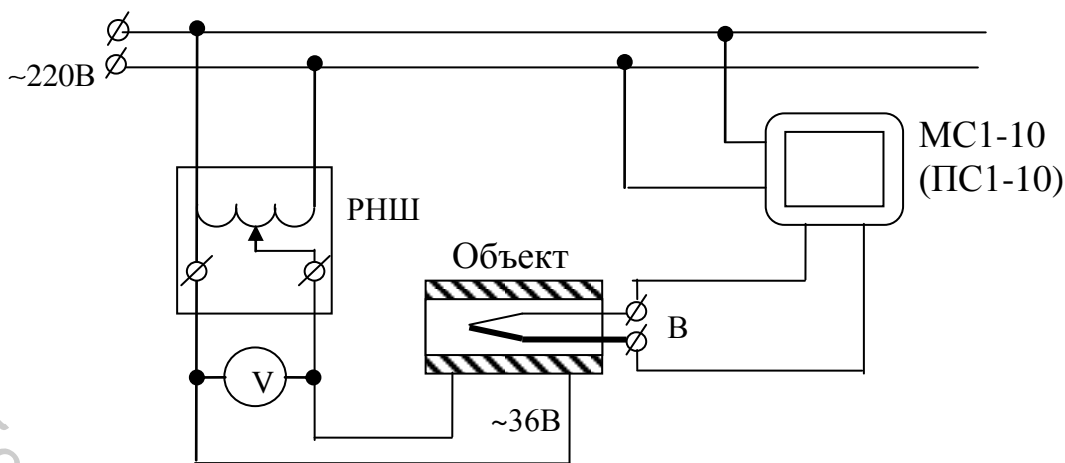


Рисунок 10.5 – Схема лабораторной установки

Контрольные вопросы

1. Что такое математическая модель и как она может быть экспериментально получена?
2. Определение математической модели теплового объекта и ее коэффициентов.
3. Что такое T , как определяется и что означает?
4. Что такое K , как определяется и что означает?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ПУТЬ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА В УСТРОЙСТВЕ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Цель работы: изучить устройства, предназначенные для сигнализации при возникновении дыма или повышении температуры. Проследить путь прохождения сигнала и определить его вид на отдельных этапах этого пути.

Основные теоретические сведения

Для защиты людей, а также общественного и личного имущества граждан в заводских цехах, складских и торговых помещениях, театрах, гаражах и других помещениях устанавливаются устройства пожарной сигнализации.

Одно из устройств подобной сигнализации приведено на рисунке 11.1. В данное устройство входят:

- датчик температуры (R2, T);
- датчик задымленности (фотодиод);
- компаратор (CA1);
- логические элементы (D1.1);

- компаратор (CA2);
- сигнальная лампа (H2).

Для ускорения протекающих процессов в схеме рекомендуется включать нагревательный элемент ЕК, минуя резистор R1.

Устройство работает следующим образом. При отсутствии дыма в помещении и нормальной температуре сигнальная лампа H2 не горит. При повышении температуры в помещении увеличивается ток через датчик температуры (сигнал с датчика поступает на вход компаратора (CA1) и сравнивается с сигналом, поступающим с источника опорного напряжения R4). При превышении сигнала с датчика над опорным на выходе CA1 устанавливается 0, а на выходе логического элемента D1.1–1, светодиод загорается.

При увеличении количества дыма в помещении появляется сигнал с фотодатчика, сравнивается с задающим сигналом на компараторе, и при превышении порогового на выходе компаратора устанавливается 0, появляется сигнал, он поступает на логический элемент, в результате чего на выходе его будет сигнал высокого уровня, и сигнальная лампа H2 загорится. Сигнальная лампа загорается также в результате срабатывания одновременно и двух датчиков.

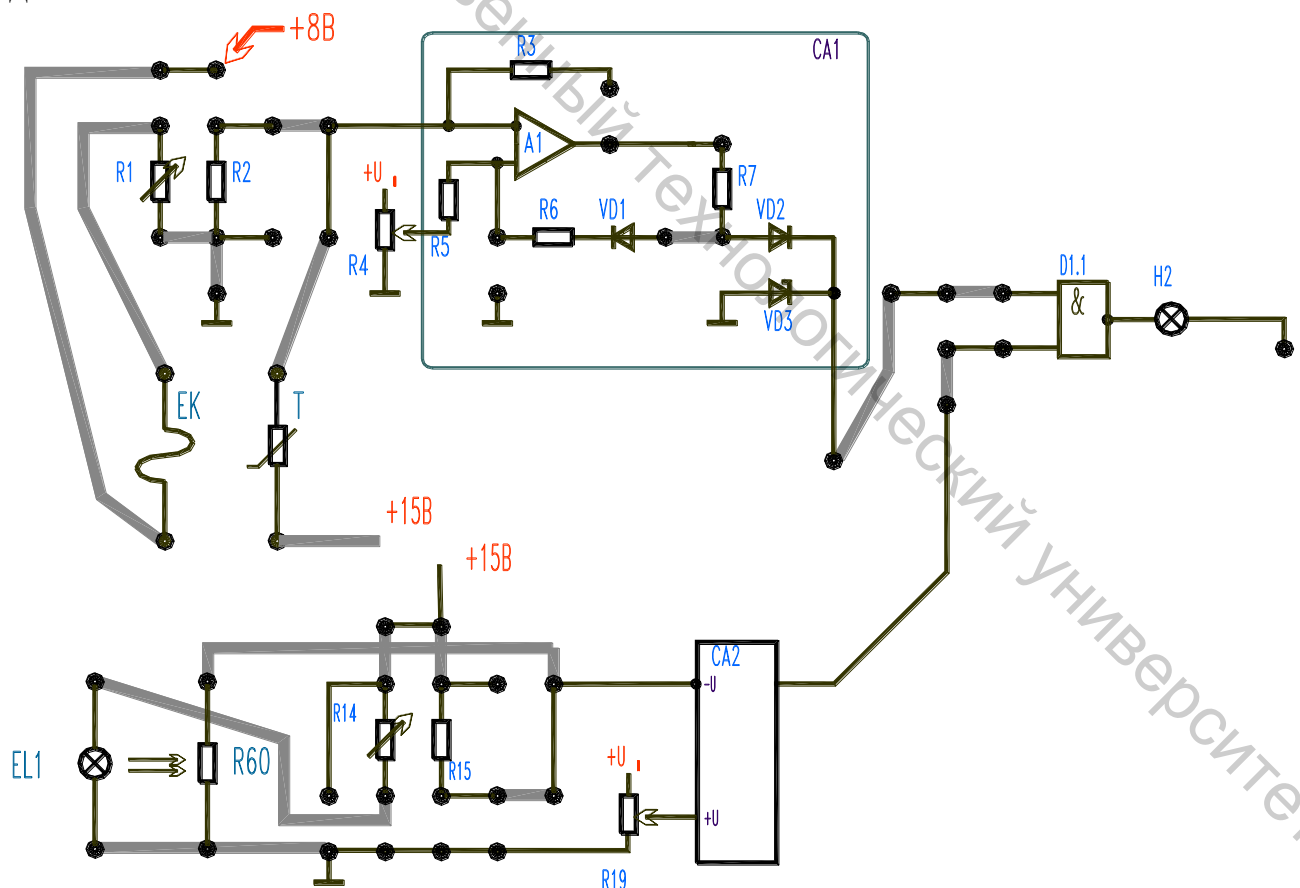


Рисунок 11.1 – Схема устройства сигнализации

Порядок выполнения работы

1. По схеме (рисунок 11.1) произвести монтаж модели устройства пожарной сигнализации, пригодного для определения температуры и степени задымленности. Для имитации задымленности в лабораторной работе используется затемнение источника света с помощью физического тела, размещенного на пути световых лучей (Н1). Повышение температуры проволочного резистора ЕК фиксируется с помощью датчика температуры С1-17. Определить вид сигналов в цепи. Заполнить таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Виды сигналов электрической цепи

Функциональный узел	Сигнализируемая величина	Носитель информации	Информационный параметр	Вид сигнала
Температурный датчик				
Фотодатчик				

2. Определить причинно-следственные связи функционирования данной схемы.

3. Привести примеры сигнализации, используемой в вашей профессии или известной вам из вашего опыта.

Контрольные вопросы

1. Назначение систем сигнализации. Виды.
2. Объяснить работу лабораторной схемы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

БЛОК СРАВНЕНИЯ КОДОВ (КОМПАРАТОР ДВОИЧНЫХ ЧИСЕЛ)

Цель работы: изучить принцип действия схем блоков сравнения.

Основные теоретические сведения

Сравнение кодов двух чисел осуществляют с помощью сравнивающих компараторов. На выходе компаратора появляется логическая единица, если сравниваемые двоичные числа А и В равны. Если А не равно В, то на выходе компаратора будет логический нуль. Для определения равенства двух переменных X1 и X2 используется логический элемент, состояние которого определяется в таблице 12.1

Таблица 12.1

X1	X2	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Такой логический элемент называется ИСКЛЮЧАЮЩИМ ИЛИ-НЕ. Его реализация на логических элементах НЕ, И, ИЛИ показана на рисунке 12.1.

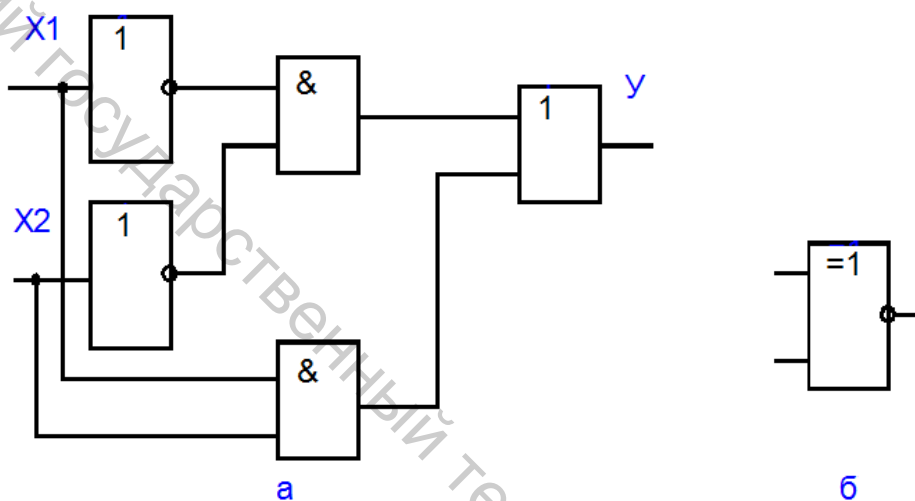


Рисунок 12.1– Логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ

Если сравниваемые переменные имеют несколько разрядов, то подобным образом осуществляется поразрядное сравнение, и схема компаратора примет вид, приведенный на рисунке 12.2.

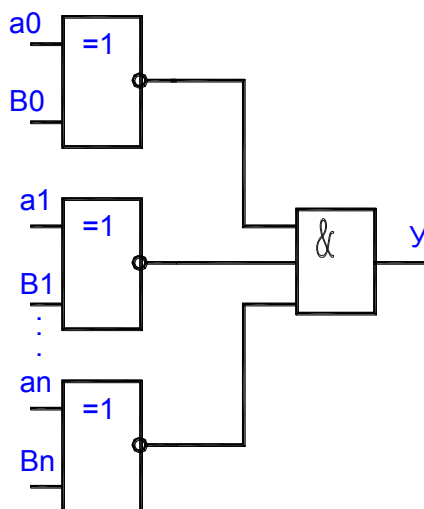


Рисунок 12.2 – Схема компаратора

В лабораторной работе исследуется схема сравнения, представленная на рисунке 12.3.

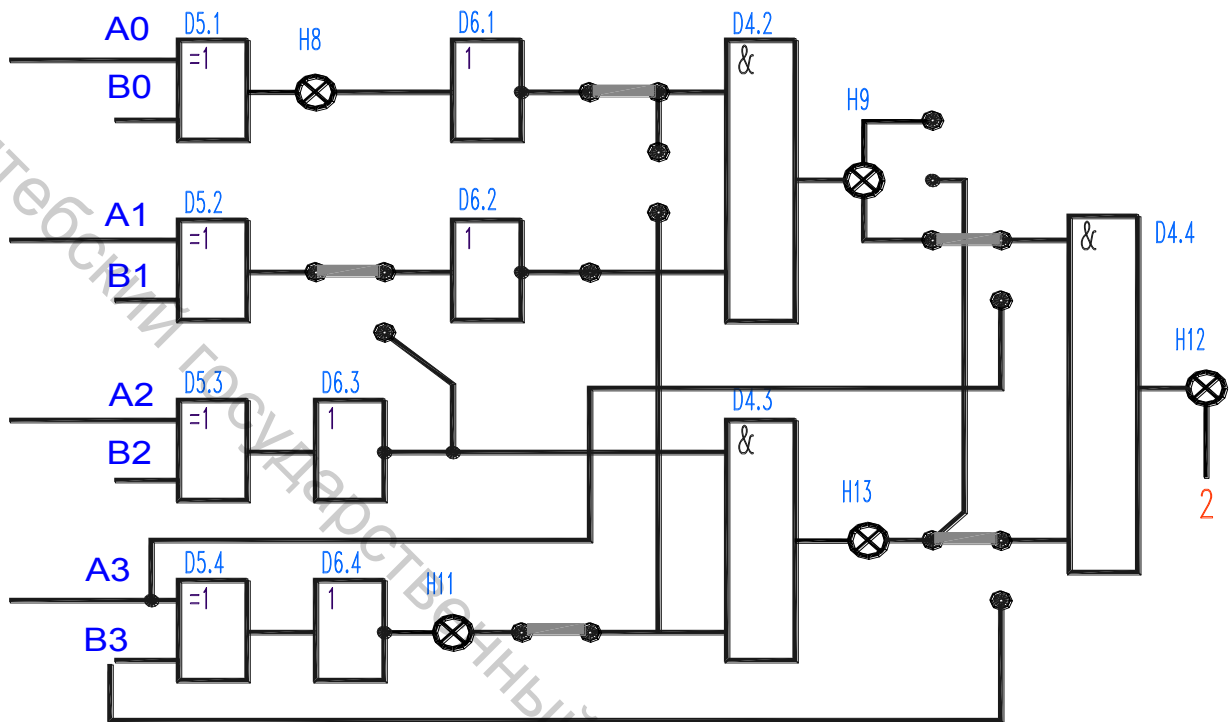


Рисунок 12.3 – Схема сравнения

Порядок выполнения работы

Используя элементы ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, НЕ, И синтезировать схему сравнения двух четырехразрядных двоичных чисел, на выходе которой при совпадении кодов устанавливается 1, в противоположном случае 0. Сравниваемые коды подавать с шифраторов D10.

Контрольные вопросы

1. Дать понятие двоичного числа.
2. Принцип сложения по модулю 2.
3. Разница между полусумматором и сумматором.
4. Пояснить работу лабораторных схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ

Цель работы: Целью работы является экспериментальное исследование основных электрических и временных параметров электромагнитных реле и методов их изменения.

Основные теоретические сведения

Электромагнитные реле предназначены для коммутации электрических цепей устройств электроавтоматики. Различают реле постоянного тока и переменного тока. На рисунке 13.1 показано устройство реле постоянного тока, где отмечены – корпус 1, сердечник 2, обмотка 3, якорь 4, штифт отлипания 5, контактные пружины 6, возвратная пружина 7.

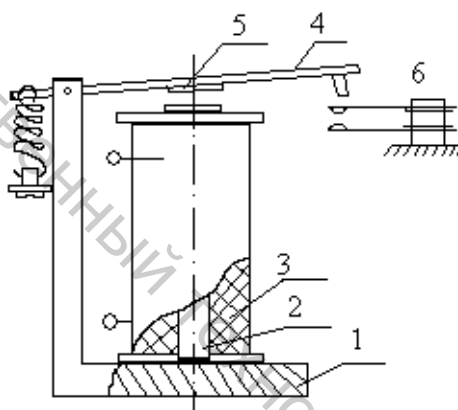


Рисунок 13.1 – Реле постоянного тока

При прохождении по обмотке тока возбуждается магнитный поток, который, проходя по магнитопроводу, замыкается через воздушный зазор. В этом случае якорь притягивается к сердечнику, что приводит к замыканию или размыканию соответствующих контактов.

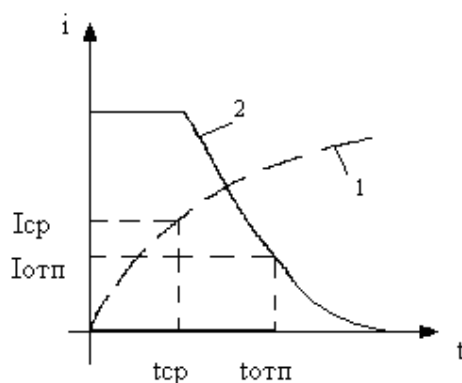


Рисунок 13.2 – График переходного процесса работы реле постоянного тока

Наиболее важными параметрами электромагнитных реле являются: токи срабатывания I_{cp} и отпускания I_{omn} , коэффициент запаса $K_3 = \frac{I}{I_{cp}}$, коэффициент возврата $K_8 = \frac{I_{omn}}{I_{cp}}$, время срабатывания t_{cp} и время отпускания t_{omn} . На рисунке 6.8 показаны закономерности изменения тока в обмотке реле при его включении (кривая 1) и выключении (кривая 2).

Методы ускорения срабатывания реле

1. Метод форсированного включения реле.

Этот метод заключается в увеличении напряжения, прикладываемого к обмотке реле. В этом случае возрастает скорость изменения тока в обмотке реле, растет коэффициент запаса, уменьшается время срабатывания реле. Увеличение напряжения ограничивается условиями нагрева обмотки реле.

2. Форсировка дешунтированием добавочного сопротивления.

На период включения на схему подается $U > U_{ном}$. После срабатывания реле его замыкающими контактами вводится R_d , ограничивающее ток до номинального.

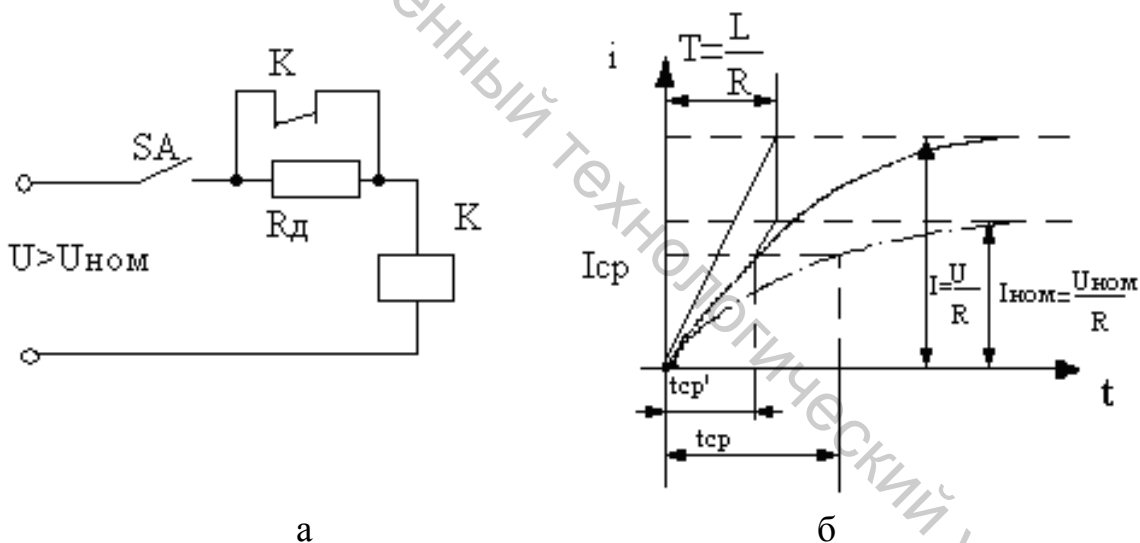


Рисунок 13.3 – Форсировка дешунтированием добавочного сопротивления:
а – схема включения; б – график переходного процесса

3. Форсировка шунтированием R_d емкостью.

В момент включения схемы под напряжение C_d заряжается и создает дополнительный путь для тока, шунтируя R_d . После полной зарядки C_d ток реле ограничивается R_d .

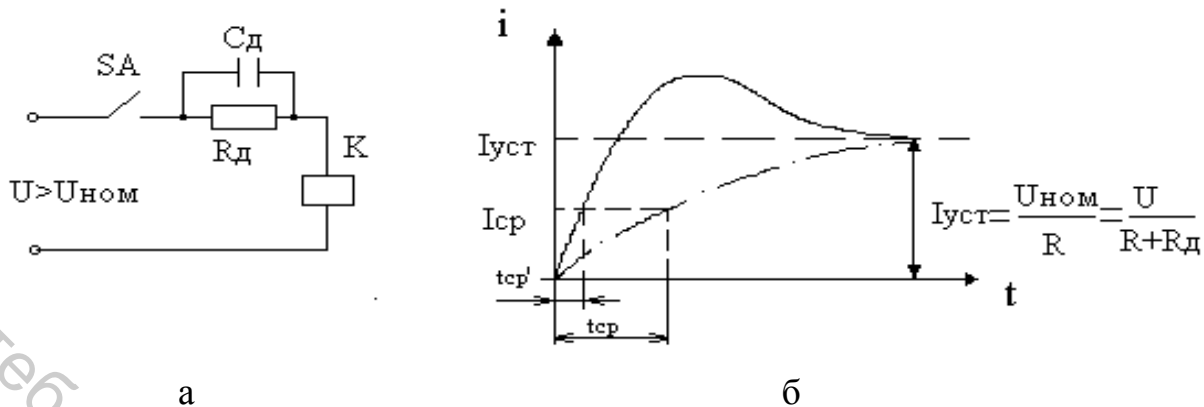


Рисунок 13.4 – Форсировка шунтированием R_d емкостью:
а – схема включения; б – график переходного процесса

4. Ускорение срабатывания реле путем уменьшения постоянного времени цепи обмотки.

Постоянная времени цепи обмотки реле, определяющая скорость изменения тока, равна $T = \frac{L}{R}$, где L – индуктивность обмотки, R – сопротивление обмотки. Уменьшение T достигается последовательным включением R_d в цепь обмотки $T' = \frac{L}{R + R_d}$.

Величина R_d определяется условиями необходимого ускорения, а напряжения питания схемы – из условия $I_{уст} = I_{ном}$.

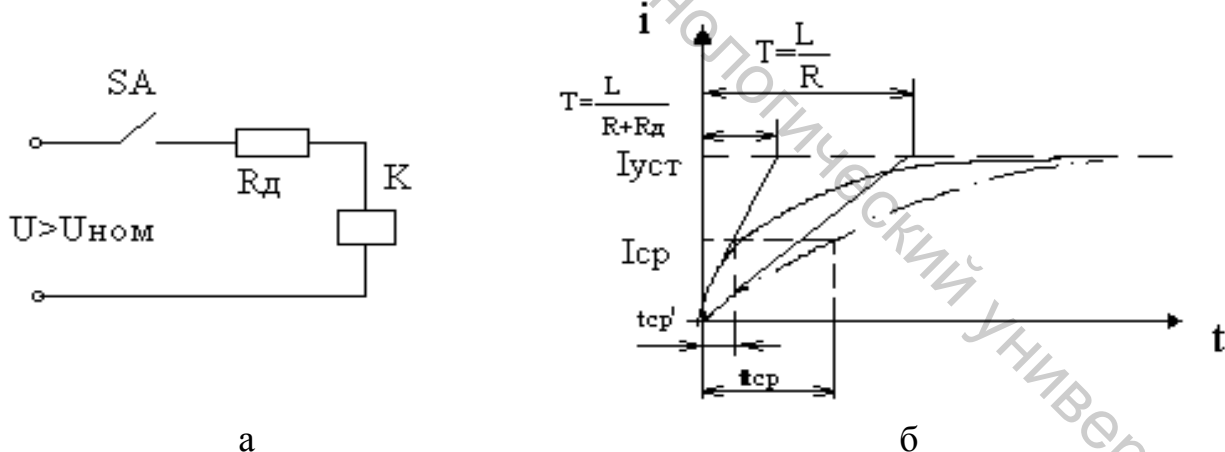


Рисунок 13.5 – Ускорение срабатывания реле путем уменьшения постоянной времени цепи обмотки:
а – схема включения; б – график переходного процесса

Методы замедления срабатывания реле

1. Замедление с помощью RC цепи.

В этой схеме напряжение на обмотке реле, равное напряжению на $C_{ш}$, нарастает постепенно по мере заряда емкости. Время заряда пропорционально произведению $R_{д}C_{ш}$. Напряжение питания выбирают из условия $I_{уст} = I_{ном}$.

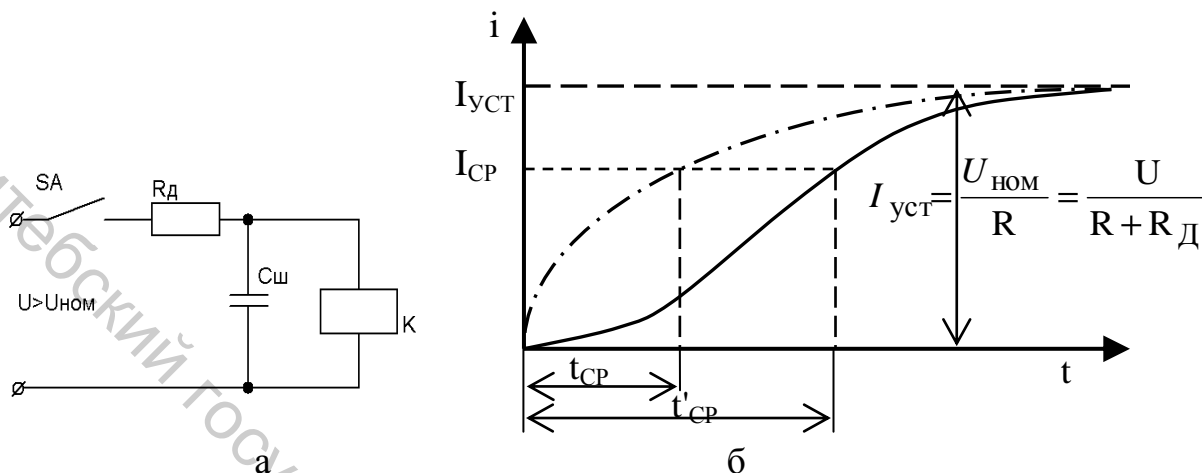


Рисунок 13.6 – Замедление с помощью RC цепи:
а – схема включения; б – график переходного процесса

2. Замедление с помощью добавочного и шунтирующего сопротивлений.

Иногда в схемах автоматических и телемеханических устройств используются реле с номинальным напряжением, меньшим напряжения питания схемы, и для ограничения тока в обмотке включают $R_{д}$, что приводит к ускорению срабатывания реле. Для снижения быстродействия реле до номинальной величины обмотку шунтируют $R_{ш}$.

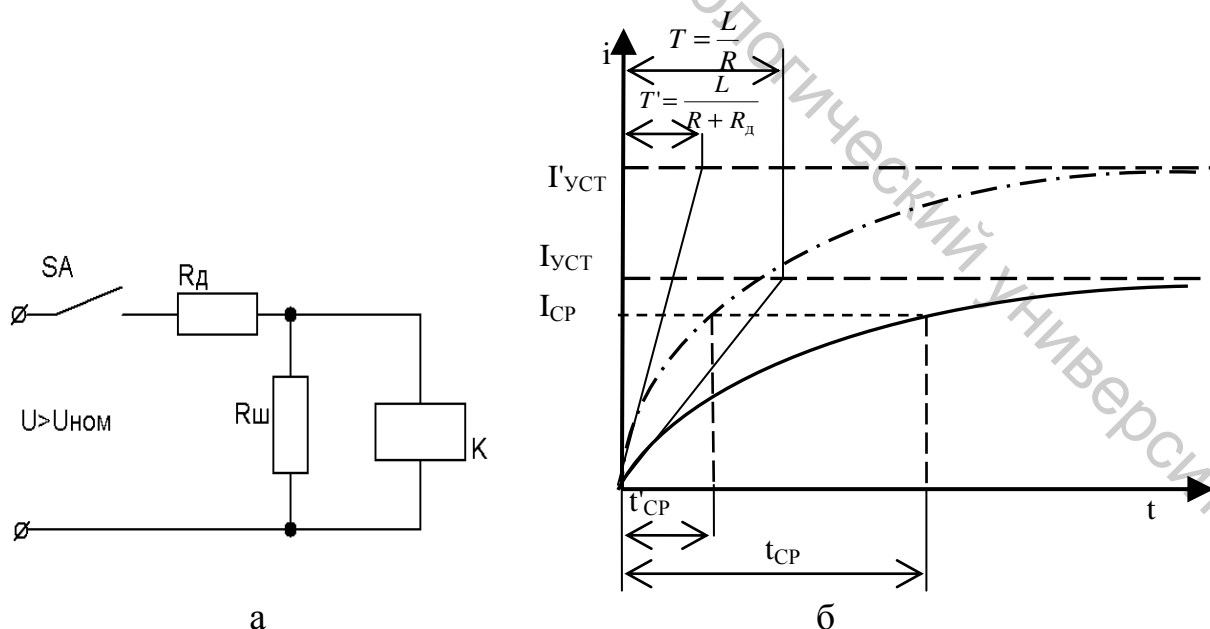


Рисунок 13.7 – Замедление с помощью добавочного и шунтирующего сопротивлений:
а – схема включения; б – график переходного процесса

Методы замедления отпускания реле

1. Замедления с помощью шунтирующего сопротивления.

Этот метод рассмотрен ранее. Его недостаток – дополнительные потери энергии в $R_{ш}$. Для уменьшения потерь электроэнергии обмотку реле шунтируют диодом (рисунок 13.8) В этом случае при отключении реле в контуре реле – диод приобретает ток самоиндукции в направлении прямой проводимости диода и обмотка шунтируется его малым прямым сопротивлением.

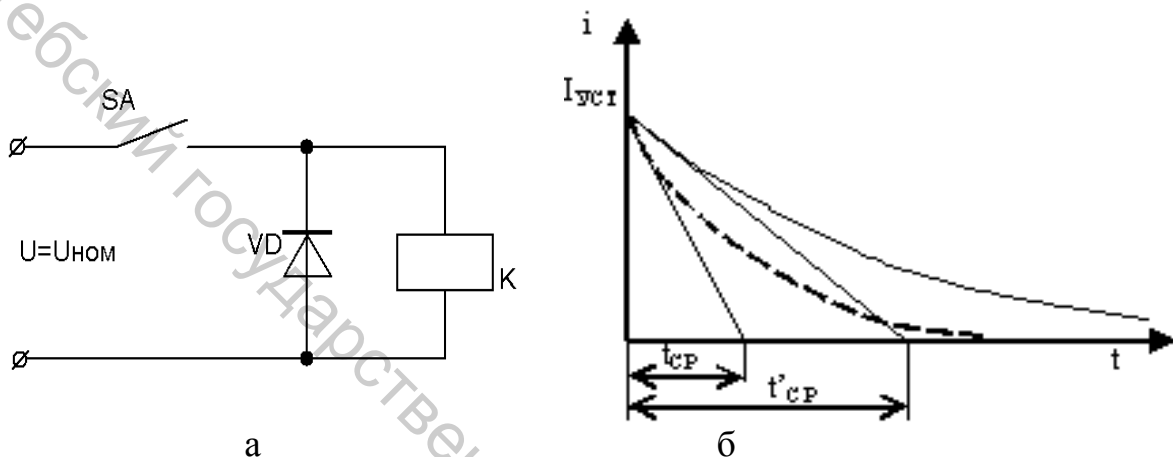


Рисунок 13.8 – Замедление с помощью шунтирующего диода VD:
а – схема включения; б – график переходного процесса

2. Замедление шунтированием обмотки реле емкостью.

Схема (рисунок 13.6) создает замедление не только при включении, но и при отключении. При отключении напряжения емкость $C_{ш}$ разряжается на обмотку реле и обеспечивает замедление спадания тока по сравнению с простым отключением. Графики переходных процессов приведены на рисунке 13.9.

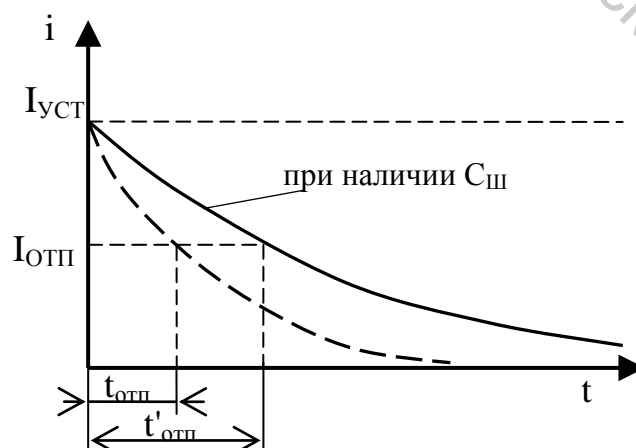


Рисунок 13.9 – Замедление отпускания реле с помощью RC цепи.
График переходного процесса

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рисунок 13.10). Определить напряжение и ток срабатывания реле. Определить напряжение и ток отпускания реле.

Примечание: $U_{ном}$ принято равным $24В$, а $I_{ном}=1,35мА$.

2. По данным п.1. определить $K_в = \frac{I_{омн}}{I_{ср}}$ и $K_з = \frac{I_{ном}}{I_{ср}}$.

3. Собрать схему, представленную на рисунке 13.10. Определить $t_{ср}$ реле для указанных в таблице 13.1 напряжений.

Таблица 13.1

$U, В$	5	24	30	40
$\frac{U}{U_{ср}}$				
$t_{ср}, мс$				

4. Собрать схему, представленную на рисунке 13.11. Определить реле для указанных в таблице 13.2 напряжений. Подключить в соответствии с рисунком 13.8 диод и для $U = U_{ном}$ определить время отпускания реле.

Таблица 13.2

$U, В$	5	24	30	40
$\frac{U}{U_{отп}}$				
$t_{омн}, мс$				

5. Собрать схему (рисунок 13.12) и определить зависимость времени срабатывания реле от величины $R_д$. При изменении $R_д$ устанавливать ток в обмотке реле $I_p = I_{ном} = 1,35мА$ изменением напряжения источника питания. Данные занести в таблицу 13.3.

Таблица 13.3

$R_д, кОм$	0	6,8	16	24	110
$t_{ср}, мс$					

6. Собрать схему (рисунок 13.13) и определить зависимость времени срабатывания реле от величины $R_д$ и $C_д$. При изменении $R_д$ устанавливать ток в обмотке реле $I_p = I_{ном} = 1,35мА$ изменением напряжения источника питания. Данные занести в таблицу 13.4.

Таблица 13.4

$R_{\partial}, \text{кОм}$	$C_{\partial}, \text{мкФ}$	20	200	1000
	$t_{\text{ср}}, \text{мс}$			
110				
220				

7. Собрать схему (рисунок 13.14) и определить зависимость времени срабатывания реле от величины R_{∂} и C_{∂} при $I_p = I_{\text{ном}} = 1,35 \text{мА}$. Данные занести в таблицу 13.5.

Таблица 13.5

$R_{\partial}, \text{кОм}$	$C_{\partial}, \text{мкФ}$	20	200	1000
	$t_{\text{ср}}, \text{мс}$			
6,8				
110				

8. Собрать схему (рисунок 13.15) и определить зависимость времени отпускания реле от $C_{\text{ш}}$ при $I_p = I_{\text{ном}} = 1,35 \text{мА}$. Установить $R_{\partial} = 16,0 \text{кОм}$ для всех значений $C_{\text{ш}}$. Данные занести в таблицу 13.6.

Таблица 13.6

$C_{\text{ш}}, \text{мкФ}$	20	200
$t_{\text{отп}}, \text{мс}$		

9. Собрать схему (рисунок 13.16) и определить зависимость времени срабатывания реле от величин R_{∂} и $R_{\text{ш}}$ при $I_p = I_{\text{ном}} = 1,35 \text{мА}$. Данные занести в таблицу 13.7.

Таблица 13.7

$R_{\text{ш}}, \text{кОм}$	$R_{\partial}, \text{кОм}$	6,8	16
	6,8		
1,5			

10. Собрать схему (рисунок 13.17) и определить зависимость времени отпускания реле от величины $R_{\text{ш}}$ при $R_{\partial} = 16 \text{кОм}$ и $I_p = I_{\text{ном}} = 1,35 \text{мА}$. Данные занести в таблицу 13.8.

Таблица 13.8

$R_{\text{ш}}, \text{кОм}$	∞	6,8	1,5
$t_{\text{отп}}, \text{мс}$			

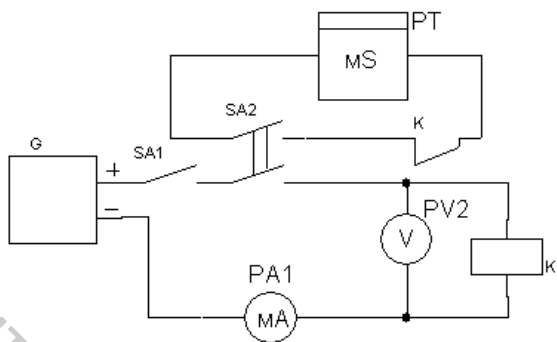


Рисунок 13.10 – Схема для определения времени срабатывания реле

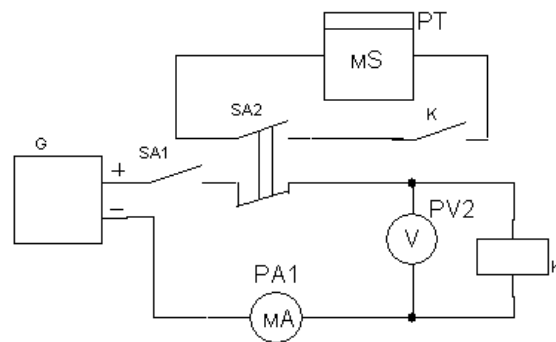


Рисунок 13.11 – Схема для определения времени размыкания реле

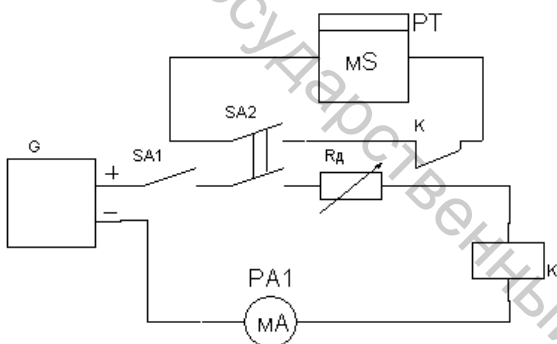


Рисунок 13.12 – Схема с добавочным сопротивлением (срабатывание)

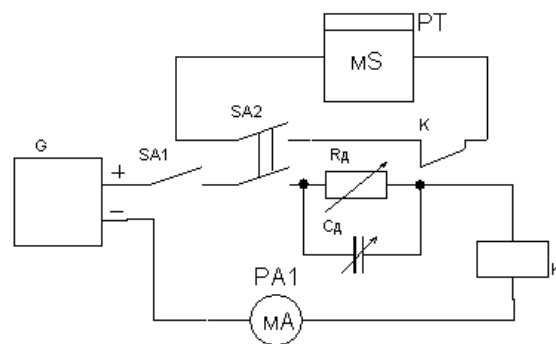


Рисунок 13.13 – Схема с форсирующей цепью (срабатывание)

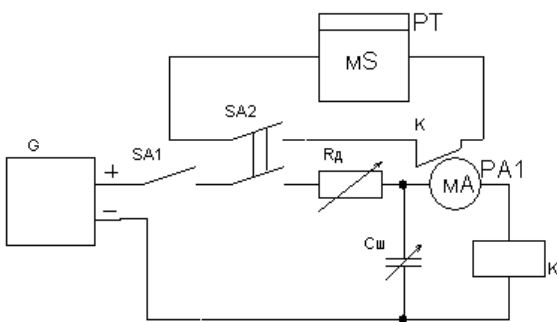


Рисунок 13.14 – Схема с интегрирующей цепью (срабатывание)

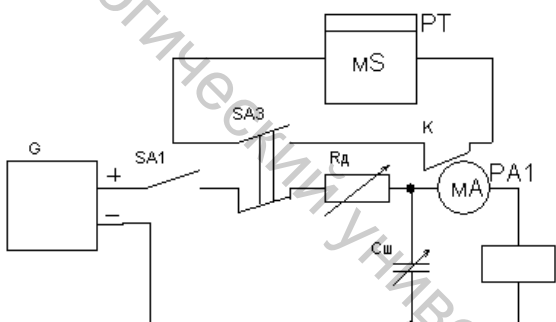


Рисунок 13.15 – Схема с интегрирующей цепью (размыкание)

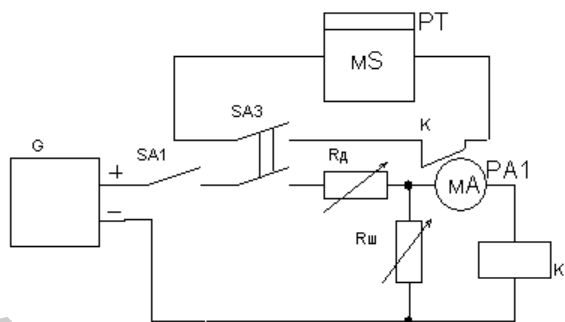


Рисунок 13.16 – Схема с делителем напряжения (срабатывание)

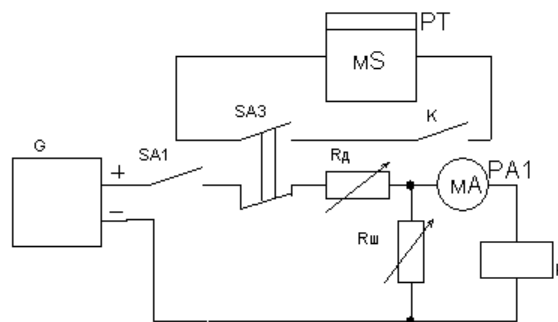


Рисунок 13.17 – Схема с делителем напряжения (размыкание)

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия и назначения элементов конструкции реле.
2. Дать определения времени срабатывания и времени отпускания реле.
3. Привести схемы и объяснить методы ускорения срабатывания реле.
4. Привести схемы и объяснить методы замедления срабатывания реле.
5. Привести схемы и методы замедления отпускания реле.
6. Привести блок-схему и объяснить принцип действия электросекундомера.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СЕЛЬСИНОВ

Цель работы: Изучение устройства и принципа действия сельсинов. Изучение схем включения сельсинов для измерения и дистанционной передачи угла поворота и угла рассогласования валов. Исследование характеристик сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах.

Основные теоретические сведения

В автоматических системах управления широкое применение нашли электрические системы синхронной передачи, т.е. совокупность устройств, назначением которых является измерение или передача на расстояние угловых перемещений, обеспечение синхронного вращения валов, не связанных механически. В системах малой мощности для этой цели используются сельсины. Сельсин – это малогабаритная самосинхронизирующаяся машина переменного тока, имеющая две группы обмоток: первичную – одно- или трехфазную и вторичную – трехфазную. Различают сельсины контактные и

бесконтактные. По схемам включения сельсины подразделяются на индикаторные (рисунок 14.1), трансформаторные (рисунок 14.2) и дифференциальные (рисунок 14.3). В индикаторных схемах обмотки возбуждения сельсина-датчика (BG) и сельсина-приемника (BE) подключены к одному источнику питания. Синхронизирующие обмотки соединены между собой (рисунок 14.1). Трансформаторная схема отличается тем, что обмотка возбуждения BE подключается к вольтметру (при индикации) или к исполнительному устройству (рисунок 14.2).

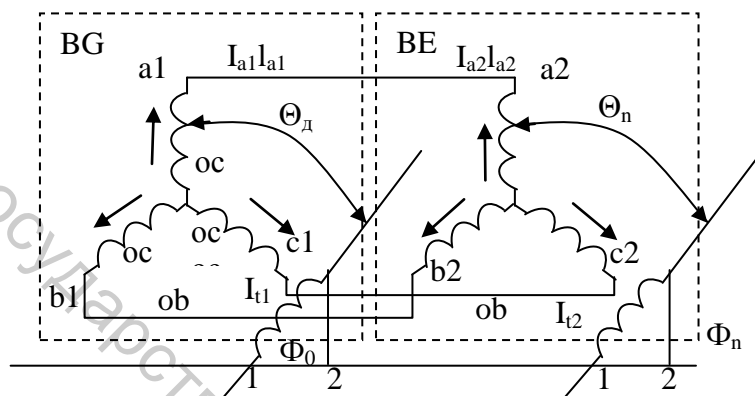


Рисунок 14.1 – Индикаторная схема включения сельсинов

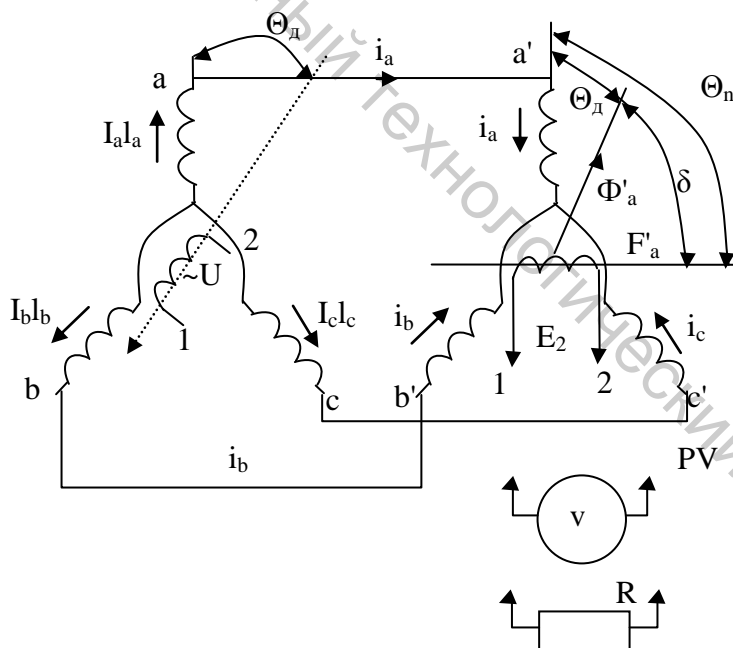


Рисунок 14.2 – Трансформаторная схема включения сельсинов

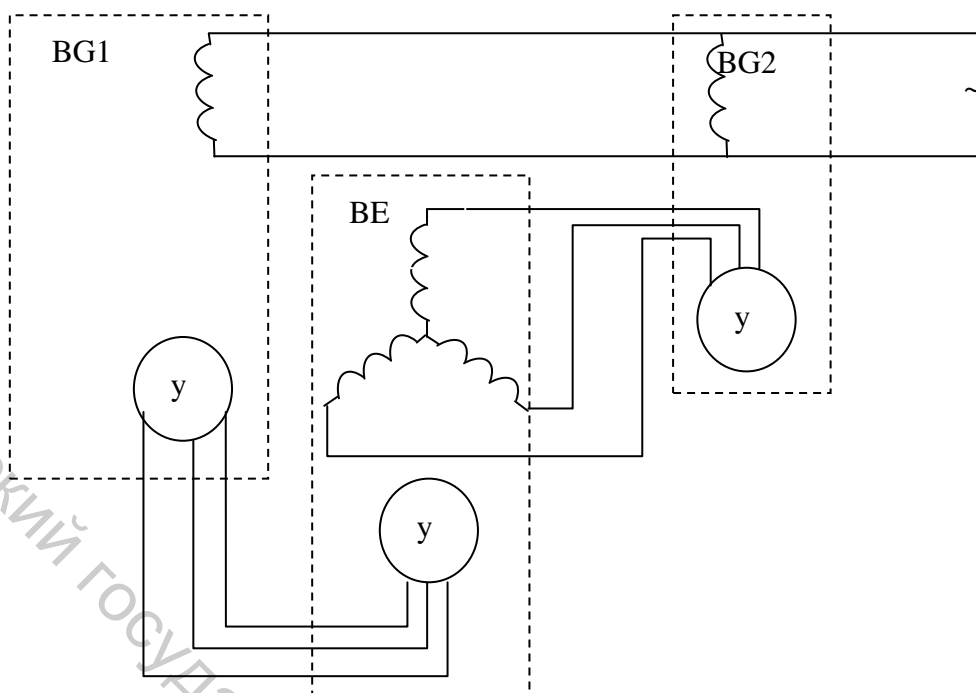


Рисунок 14.3 – Дифференциальная схема включения сельсинов

Для измерения угла поворота используются два сельсина: сельсин-датчик (*СД*) и сельсин-приемник (*СП*).

Вал сельсин-датчика (ротор) связан с поворачиваемым устройством, угол поворота которого необходимо измерить. На роторе сельсина-приемника закрепляется счетное устройство (стрелки для измерения угла поворота). В данном случае используется индикаторная схема включения сельсинов. Обмотки возбуждения (*ОВ*) датчика и приемника включены в одну и ту же цепь питания (последовательно), т.е. к одинаковому напряжению. Обмотки являются одинаковыми по параметрам и ток, протекающий через обмотки, наводит одинаковое магнитное поле и в сельсине-датчике (*СД*) и в сельсине-приемнике (*СП*). Магнитное поле в свою очередь наводит ЭДС в фазах ротора.

Когда ротор *СД* и ротор *СП* одинаково сориентированы относительно обмоток возбуждения, то фазные ЭДС одинаковые, т.е.

$$E_{Di} = E_{Pi},$$

это значит, что между фазами нет разностного сигнала, нет перепада напряжения между фазами, следовательно, нет тока.

Как только ротор датчика повернется на, какой ни будь, угол, т.е. изменится расположение фазных обмоток датчика относительно обмоток возбуждения (*ОВ*) и соответственно измениться наводимое ЭДС в обмотках. Между фазами датчика и приемника появляется перепад напряжения и по цепи потечет уравнивающий ток. Под воздействием этого тока *СП* переходит в двигательный режим работы и начинает поворачивать свой ротор до тех пор, пока ЭДС фаз не уравниваются, т.е. пока уравнивающий ток не станет, равен 0.

Данная схема не позволяет измерять угол рассогласования, т.е. разности угла поворота датчика и угла поворота приемника. Для этого измерения используется схема трансформаторного включения сельсинов.

Ротор датчика присоединяется к одному валу, а приемник к другому, т.е. рассогласовывается угол поворота.

ОВ датчика подключается к источнику питания, а сигнал рассогласования снимается с *ОВ* приемника. Принцип работы заключается в следующем:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{max}} \cos Q, \text{ где } Q = \varphi_1 - \varphi_2$$

В фазных приемниках нет ЭДС. За счет протекания тока ротором создается магнитное поле, которое наводит ЭДС в *ОВ* приемника, с него снимается напряжение и замеряется $U_{\text{вых}}$ (Q – разность между углами поворота, U_{max} когда углы равны между собой).

Качество работы сельсина оценивается следующими параметрами:

1. Удельным выходным напряжением, т.е. напряжением, приходящимся на один градус угла рассогласования.
2. Чувствительностью *кВ/град*, равной выходному напряжению при рассогласовании от «нулевого» положения на один градус.
3. Удельной выходной мощностью, т.е. мощностью, приходящейся на один градус угла рассогласования.
4. Остаточным напряжением, равным выходному напряжению при рассогласовании на 90° .
5. Потребляемыми мощностью и током при условии нормальной работы, а также максимальным током (при условии допустимого нагрева обмоток).

Порядок выполнения работы

Исследование индикаторной сельсинной схемы (рисунок 14.1)

1. Снять характеристику чувствительности. Чувствительность индикаторных сельсинов определяется начальным углом рассогласования, при котором возникает момент, достаточный для преодоления момента трения на валу *ВЕ*. Для снятия этой характеристики необходимо для каждого значения угла вала *ВЕ* записывать значение угла поворота *BG*, при котором ротор *ВЕ* начинает трогаться. Данные занести в таблицу 14.1.

2. Определить визуально точность следования. Под точностью следования понимают максимальный угол расхождения в пространстве осей роторов задающего и принимающего сельсинов при работе передачи.

Вращая ротор *BG* визуально убедиться, отстаёт или не отстаёт вращение ротора *ВЕ*. Отметить в отчете.

Исследование трансформаторных сельсинных схем (рисунок 14.2)

1. Снять характеристику точности следования для трансформаторного режима, для чего:

а) подать на обмотку возбуждения BG напряжение $U=127В$. Обмотки синхронизации соединить следующим образом:

$a_1 - a_2; b_1 - b_2; c_1 - c_2;$

б) обмотку возбуждения BE подключить к вольтметру;

в) поворачивая ротор BG от 0^0 до 360^0 через 30^0 , записать значения углов поворота ротора BE в таблицу 14.2.

2. Снять электрическую характеристику сельсина, т.е. зависимость величины напряжения на обмотке BE от угла поворота ротора BG $U_n = f(\Theta_g)$.

Для снятия характеристики вал сельсина приемника BE закрепить неподвижно в положении $\Theta_n=0$. На обмотку возбуждения BG подать напряжение $U=127В$. Ротор BG поворачивать последовательно на углы $\Theta_g = 0^0, 30^0, \dots, 180^0$ через каждые 30^0 . Для каждого положения в таблицу 14.3 записать значения выходного напряжения.

3. Повторить п. 2 при условии, что к обмотке возбуждения BE подключено сопротивление R . Результаты занести в таблицу 14.3.

По таблицам 14.1, 14.2, 14.3 построить графики $\delta = f(\Theta_n); \delta = f(\Theta_g); U_n = f(\Theta_g)$ для $R = \infty$ и $R = 330\text{Ом}$.

Таблица 14.1

Θ_n , град	30^0	60^0	90^0	...	360^0
Θ_g , град					
δ_m , град					

Таблица 14.2

Θ_g , град	30^0	60^0	90^0	...	360^0
Θ_n , град					
δ_m , град					

Таблица 14.3

Θ_g , град	30^0	60^0	90^0	120^0	150^0	180^0
$U_R, В$						
$U_n, R=330\text{Ом}$						

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и классификацию сельсинов.
2. Пояснить принцип работы сельсина.
3. Какими параметрами определяется качество работы сельсина?
4. Режимы работы, область применения сельсинов.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Автоматизация технологических процессов легкой промышленности : учебник для вузов / Л. Н. Плужников [и др.] ; под ред. Л. Н. Плужникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1993. – 368 с. : ил.
2. Автоматизация типовых технологических процессов и установок : учебник для вузов / А. М. Коротин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 432 с. : ил.
3. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов : учебное пособие для студентов вузов, обуч. по спец. «Автоматизация и комплексная механизация химико-технол. процессов» / И. К. Петров [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1986. – 352 с. : ил.
4. Справочник по средствам автоматики / под ред. В. Э. Нидэ, И. В. Антика. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 504 с. : ил.
5. Справочник по электрическим машинам . В 2 т. Т.2 / под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – Москва : Энергоатомиздат, 1988.
6. Автоматизация производственных процессов текстильной промышленности : учебник для вузов . В 5 кн. Кн. 5 / Д. П. Петелин [и др.]. – Москва : Легпромбытиздат, 1993.
7. Айзенберг, Л. Г. Автоматизация производственных процессов и АСУ в легкой промышленности / Л. Г. Айзенберг, А. Б. Кипнис, Ю. И. Стороженко. – Москва : Легпромбытиздат, 1990. – 304 с. : ил.
8. Орловский, Б. В. Основы автоматизации швейного производства : учебник для сред. спец. учеб. заведений / Б. В. Орловский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 248 с. : ил.
9. Клиначев, Н. В. Теория систем автоматического регулирования : учебно-методический комплекс / Н. В. Клиначев. – Москва : Академия, 2005. – Электронный вариант.
10. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. – Москва : Академия, 2007. – Электр. вариант.
11. Волчкевич, Л. И. Автоматизация производственных процессов : учебное пособие для студентов вузов / Л. И. Волчкевич. 2-е изд., стер. – Москва : Машиностроение, 2007. – 380 с.

Дополнительная

12. Средства автоматического контроля параметров технологических процессов текстильной промышленности / В. И. Киселев [и др.] ; под ред. В. И. Киселева. – Москва : Легпромбытиздат, 1990. – 224 с. : ил.
13. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / Н. Д. Дуборовой [и др.] ; под ред. А. А. Сазонова. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 328 с. : ил.

14. Карташова, А. Н. Технологические измерения в текстильной и легкой промышленности : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Автоматизация и комплексная механизация химико-технол. процессов» / А. Н. Карташова, В. С. Дунин-Барковский. – Москва : Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 312 с. : ил.

15. Сорочкин, Б. М. Автоматизация измерений и контроля размеров деталей / Б. М. Сорочкин. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 365 с. : ил.

16. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем : учебник для вузов / Н. Н. Иващенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1978. – 736 с. : ил.

17. Анализ и синтез систем автоматического регулирования : учеб. пособие / Г. Т. Кулаков. – Минск : Технопринт, 2003. – 135 с.

18. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении : учебное пособие для студентов машиностроительных спец. вузов / Ж. А. Мрочек, А. А. Жолобов, Л. М. Акулович. – Минск : Технопринт, 2003. – 304 с.

19. Основы автоматизации технологических процессов и производств / Гриф УМО МО РФ Машиностроение. Приборостроение, Academia / О.М. Соснин. – Москва, 2007. – 240 с. – Электронный вариант ISBN: 978-5-7695-3623-6.