

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

АВТОМАТИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторным работам
для студентов механических и технологических специальностей**

ВИТЕБСК
2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

СОГЛАСОВАНО
Зам. председателя
редакционно-издательского совета
ВГТУ

Первый проректор

В.В. Пятов
«____» _____ 2010 г.

С.И. Малашенков
«____» _____ 2010 г.

АВТОМАТИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам
для студентов механических и технологических специальностей

ВИТЕБСК
2011

УДК 681.5
ББК 32.965

Автоматика: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальностей 1-36 08 01, 1-36 01 01, 1-36 01 03, 1-36 01 04, 1-50 01 01, 1-50 01 02, 1-50 02 01, 1-53 01 01-05
Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2010.

Составители: доц. Новиков Ю.В.,
ст. преп. Ринейский К.Н.,
ст. преп. Клименкова С.А.

Методические указания составлены в соответствии с программами курсов «Автоматика и автоматизация технологических процессов» и «Автоматика и автоматизация производственных процессов», содержат лабораторные работы по указанным курсам и перечень используемой литературы.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выполнению лабораторных работ.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ» «21» октября 2010 г., протокол № 5

Рецензент: доцент Попов Ю.В.
Редактор: доцент Смелков Д.В.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» “___” _____ 2010 г., протокол № _____

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Подписано к печати _____ Формат _____ Уч.-изд. лист. _____

Печать ризографическая. Тираж ____ экз. Заказ № _____ Цена ____ руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».
Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.
210035, Витебск, Московский пр., 72.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 Исследование разомкнутой и замкнутой систем управления	4
Лабораторная работа № 2 Исследование автоматической системы позиционного регулирования температуры теплового объекта	8
Лабораторная работа № 3 Аналоговое измерение температуры и преобразование результатов измерения в цифровой сигнал	14
Лабораторная работа № 4 Аналоговое измерение угла и преобразование результатов измерения в цифровой сигнал	18
Лабораторная работа № 5 Инкрементально - цифровое определение измеряемых величин	21
Лабораторная работа № 6 Изучение схем автоматического связывания нескольких асинхронных двигателей	25
Лабораторная работа № 7 Исследование магнитного усилителя	32
Литература	38

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 воздействий. 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 (рис.1.1.)

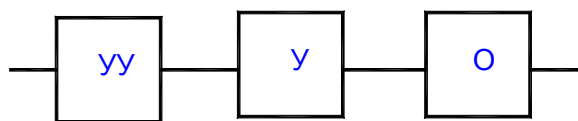


Рисунок 1.1 – Структура разомкнутой системы управления

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 (рис. 1.2).

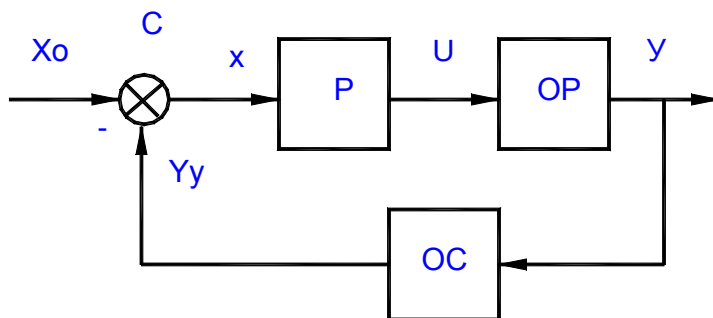


Рисунок 1.2 – Структура замкнутой системы управления

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” (рис. 1.3.).

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 К2 (рис. 1.4.).

3. Представить схему потока сигналов в обоих случаях.

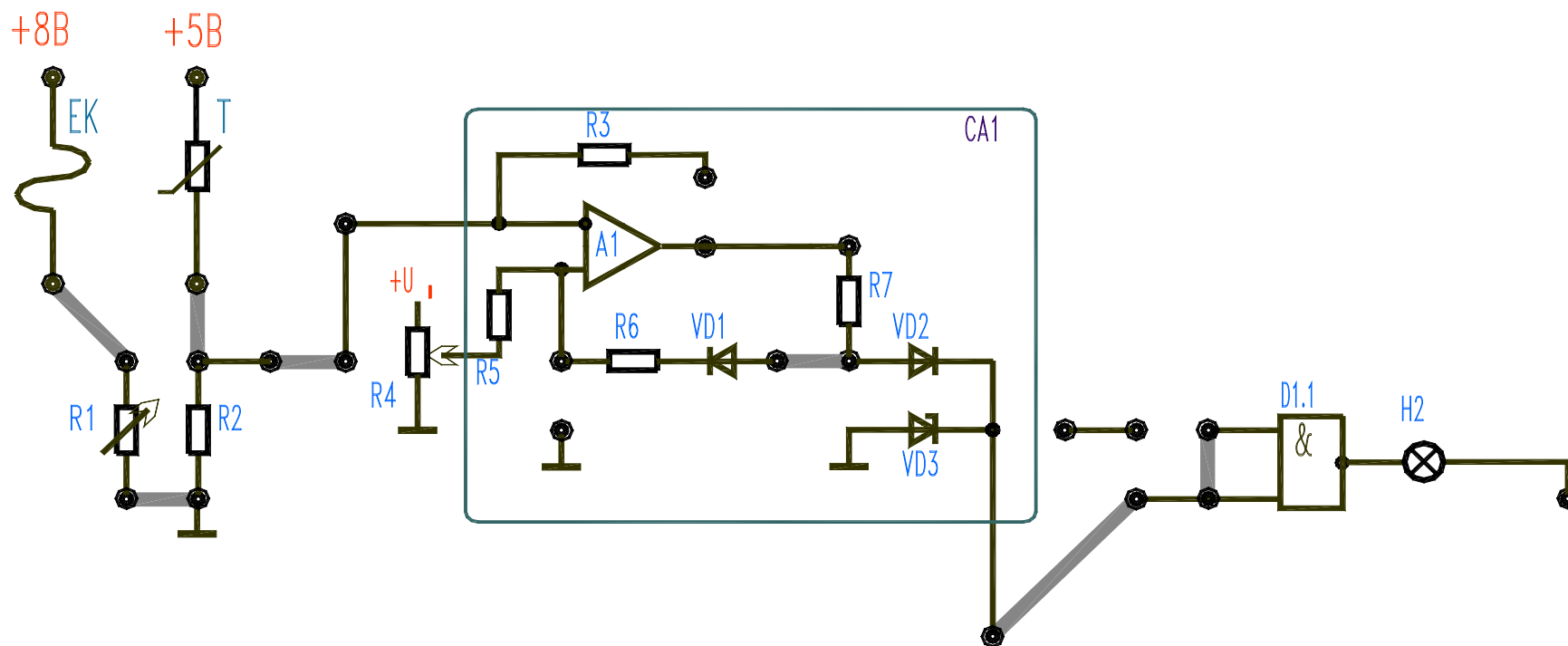


Рисунок 1.3 – Базовая схема регулирования температуры на наборном поле стенда

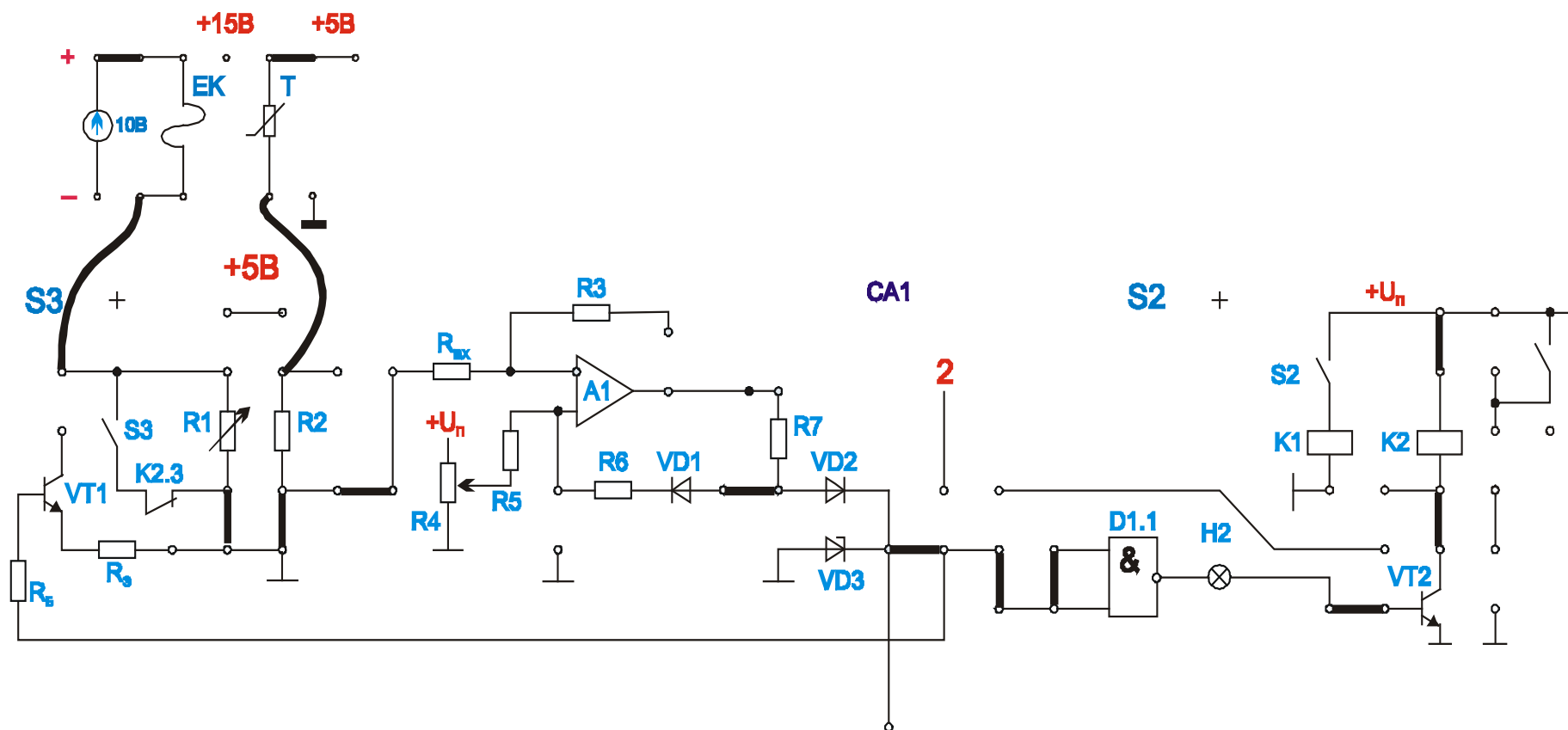


Рисунок 1.4 – Схема для позиционного регулирования температуры на наборном поле стенда

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 рис 2.1 показана функциональная схема двухпозиционного регулирования температуры в объекте с электронагревателем.

При использовании двух позиционного регулятора регулируемый орган перемещается из одного крайнего положения в другое. При использовании такого типа регулирования в САУ 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 $0 < \frac{\tau}{T} < 0,2$.

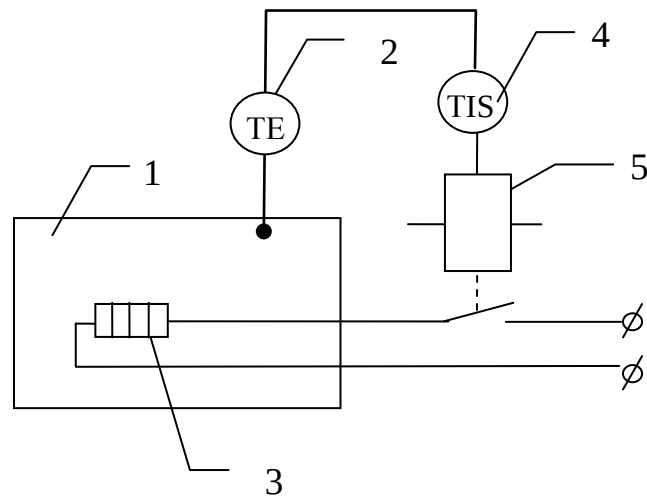


Рисунок 2.1 – Функциональная схема двухпозиционного регулирования:
1 – объект; 2 – датчик; 3 – нагреватель; 4 – регулятор; 5 – релейный элемент

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, оно состоит из времени запаздывания объекта и времени запаздывания датчика. Это запаздывание учитывается введением в систему звена запаздывания $\tau = \tau_o + \tau_\delta$. В этом случае относительный размах колебаний определяется по формуле

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

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. СДР рекомендуется применять для объектов с большой постоянной времени и с малым временем запаздывания (за счет запаздывания ампли-

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

На рис. 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 рис. 2.3.

На рис. 2.3 а показана статическая характеристика без зоны неоднозначности (идеальная статическая характеристика), на рис. 2.3 б – с зоной неоднозначности (реальная статическая характеристика).

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

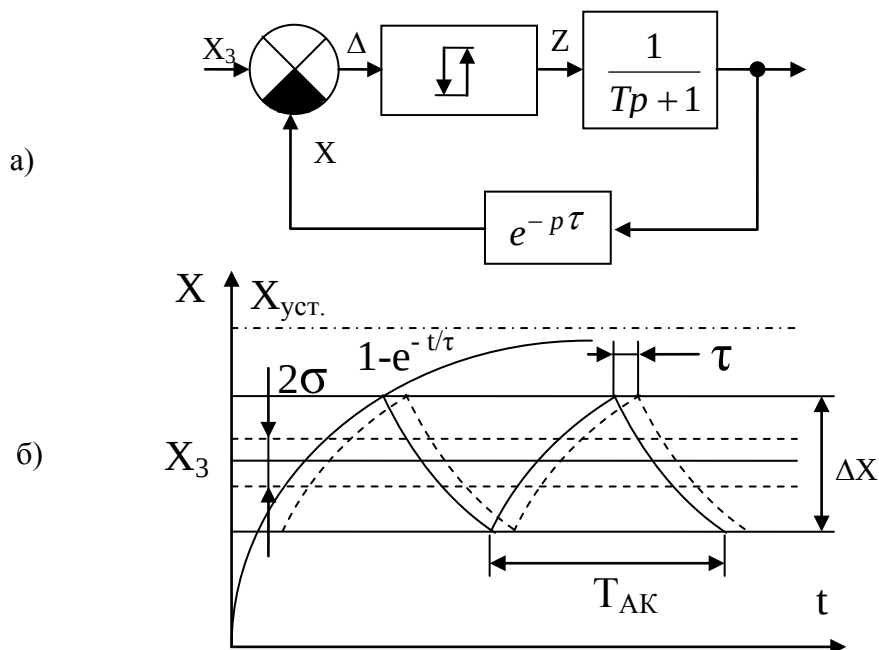


Рисунок 2.2 – Двухпозиционная АСР
а) структурная схема, б) график переходного процесса

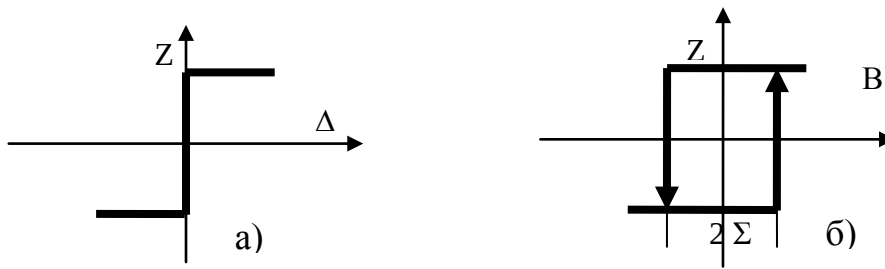


Рисунок 2.3 – Статические характеристики двухпозиционного регулятора
а) без зоны неоднозначности, б) с зоной неоднозначности

Позволяющие рассчитать размах автоколебаний и их период. Относительный (безразмерный) размах автоколебаний

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

где 2σ – относительная (безразмерная) зона неоднозначности регулятора;

T – постоянная времени объекта регулирования;

τ – время запаздывания.

Относительная зона неоднозначности $2\sigma = \frac{2\Sigma}{A}$,

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

$$\Delta x = 2\sigma^* \cdot A.$$

Период автоколебаний регулируемой величины

$$T_A = 2\sigma^* \cdot T\xi,$$

где $\xi = \frac{1}{X_3^* \cdot (1 - X_3^*)}$ – 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.

$$2\sigma = \frac{2\Sigma}{A}.$$

Весьма важным фактором, обуславливающим качество двухпозиционного регулирования, является время запаздывания τ . При наличии запаздывания размах автоколебаний будет тем больше, чем больше 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 рис. 2.4.

САУ включает:

- датчик температуры R_t ;
- 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.

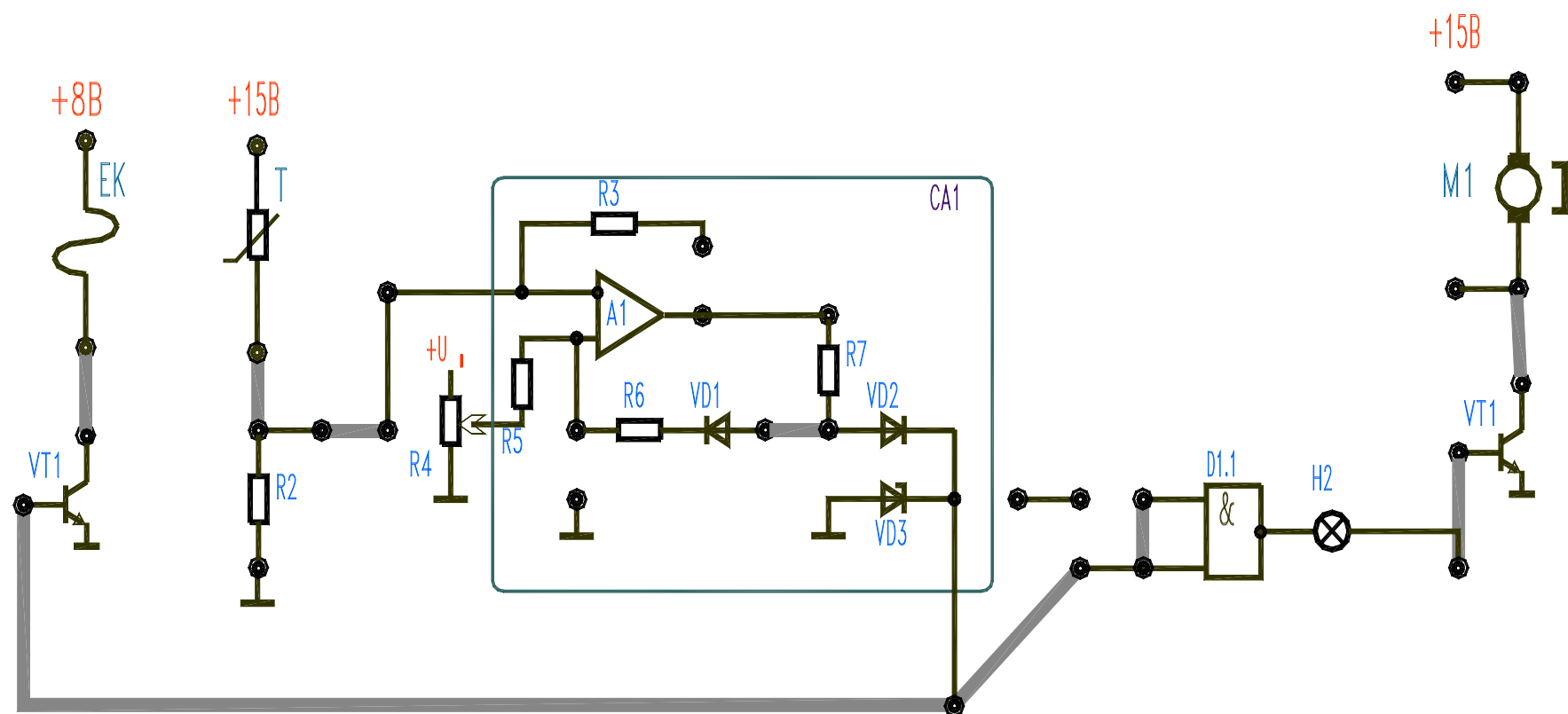


Рисунок 2.4 – Система автоматического управления работой двигателя на основе температурной зависимости

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

$$U_k = U(t_k).$$

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

$$t_k = K\Delta t.$$

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 (рис. 3.1).

Дискретные значения по шкале уровней выбираются равномерно:

$$U_k = K\Delta U.$$

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.

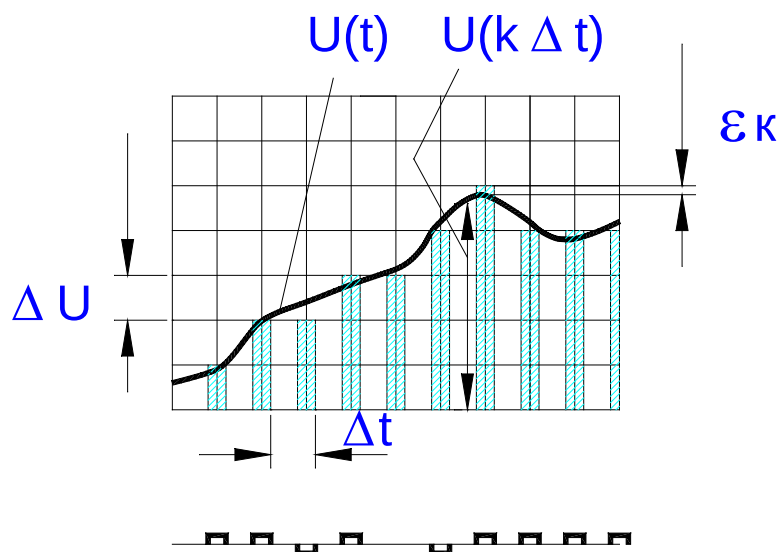


Рисунок 3.1 – Квантование аналогового сигнала

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

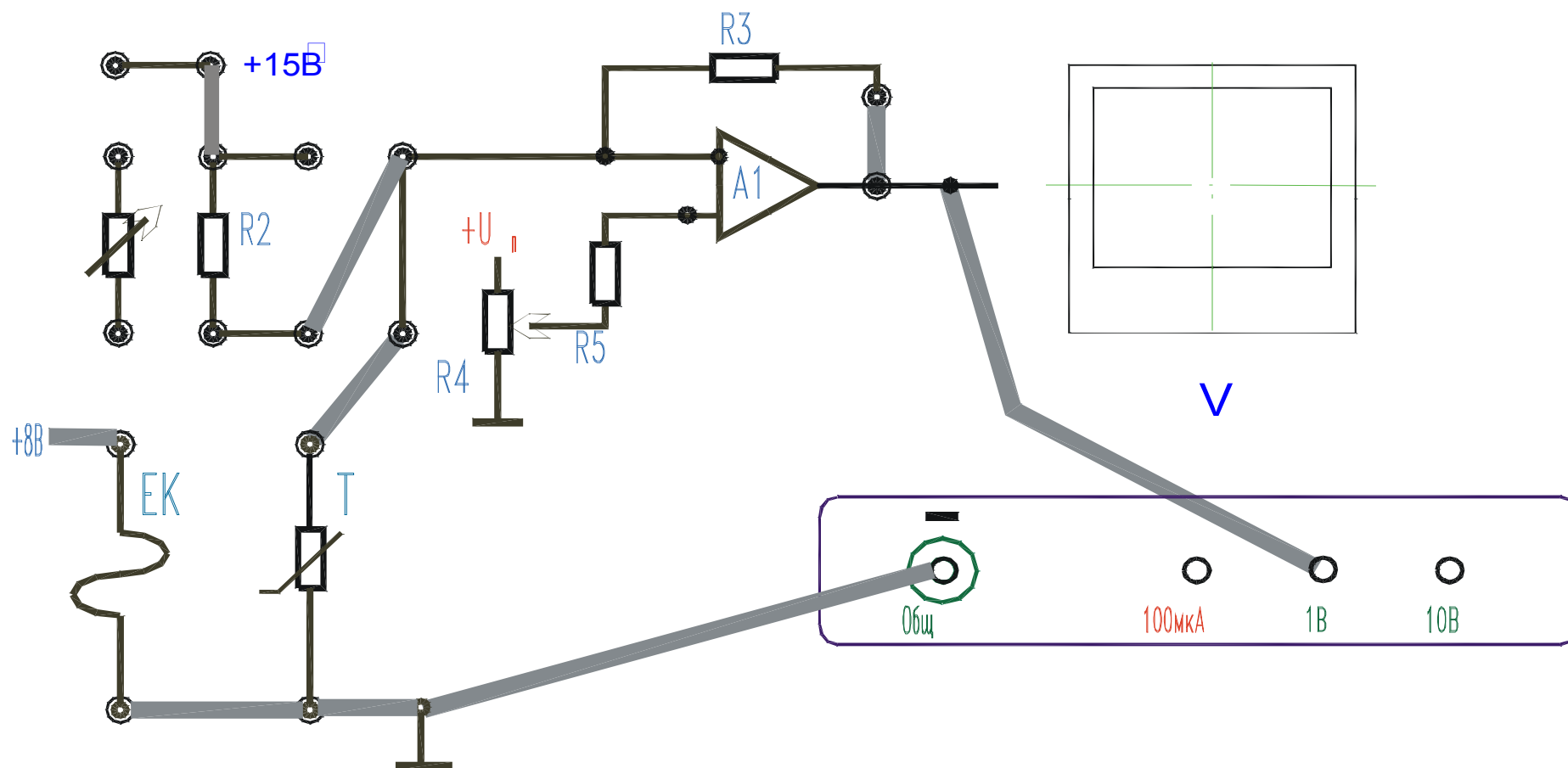


Рисунок 3.2 – Схема измерения температуры

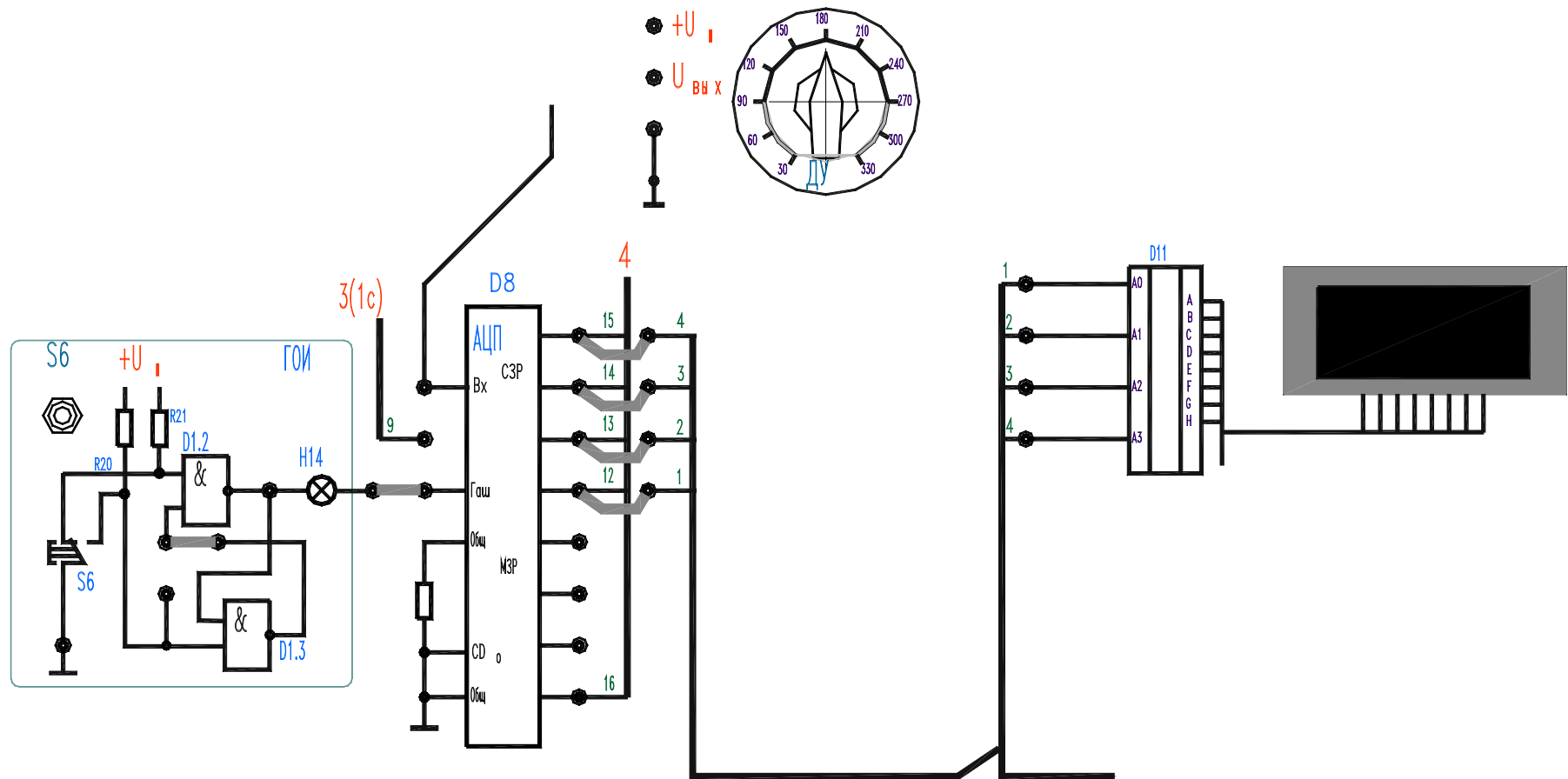


Рисунок 3.3 – Схема аналого-цифрового преобразователя (АЦП)

Порядок выполнения работы

1. Разработайте и соберите схему для аналогового измерения температуры на основе терморезистора и инвертирующего операционного усилителя (рис. 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 (рис. 3.2) с входом АЦП (рис. 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

За последние годы определилась 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.

Построить преобразователи, позволяющие закодировать полный угол с разрешающей способностью в несколько секунд, по этому способу не удастся.

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 рис. 4.1.

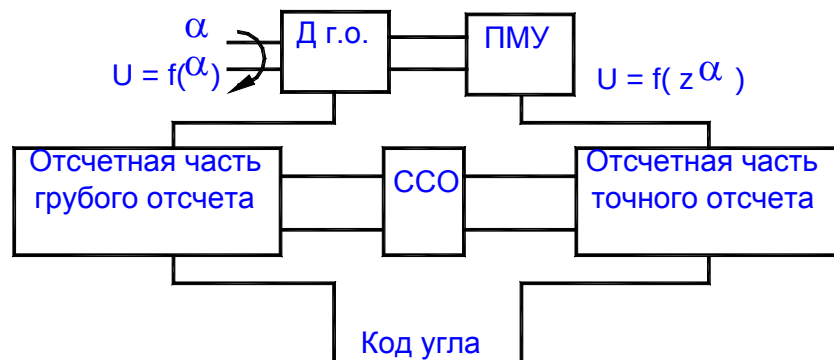


Рисунок 4.1 – Структурная схема двухотсчетного преобразователя угол – код

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 (рис. 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 (рис. 3.2) с входом АЦП (рис. 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 рис. 5.1.

Основным устройством при таком измерении является счетчик импульсов.

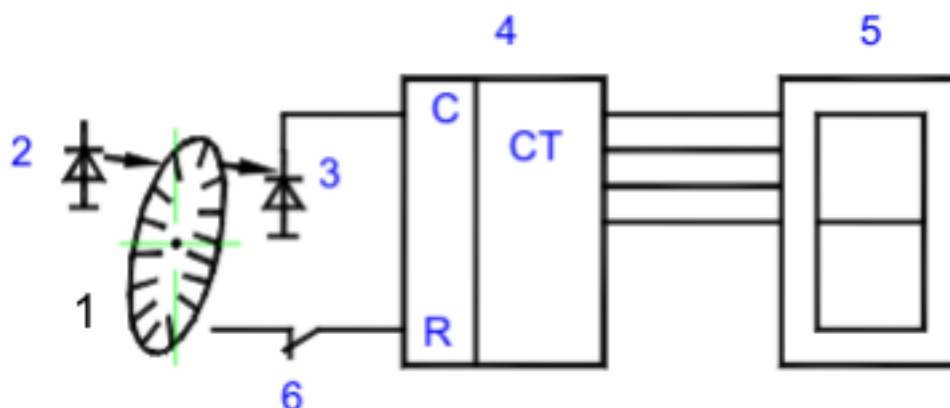


Рисунок 5.1 – Инкрементально-цифровой датчик:

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_{ycm}) 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 лишних импульсов.

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 выходы окончания счета $\overline{T}_{Ci}$ и $\overline{T}_{Cd}$. От этих выходов 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

<i>Режим</i>	Вход				<i>Выход</i>									
	R	C	C _α	C _д	Д0	Д1	Д2	Д3	Q0	Q1	Q2	Q3	$\overline{T}_{Cи}$	$\overline{T}_{Cд}$
<i>Сброс</i>	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

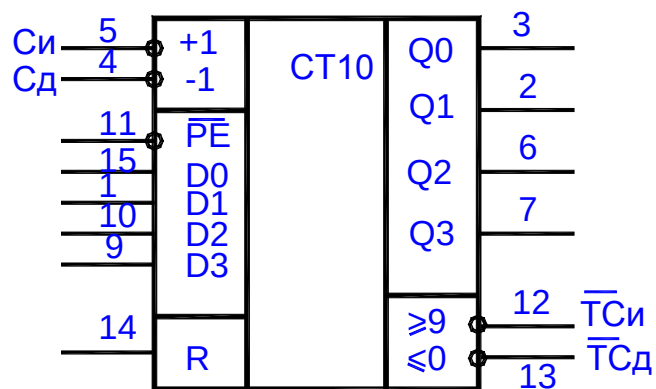


Рисунок 5.2 – Обозначения выводов счетчика

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). (Рис. 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.

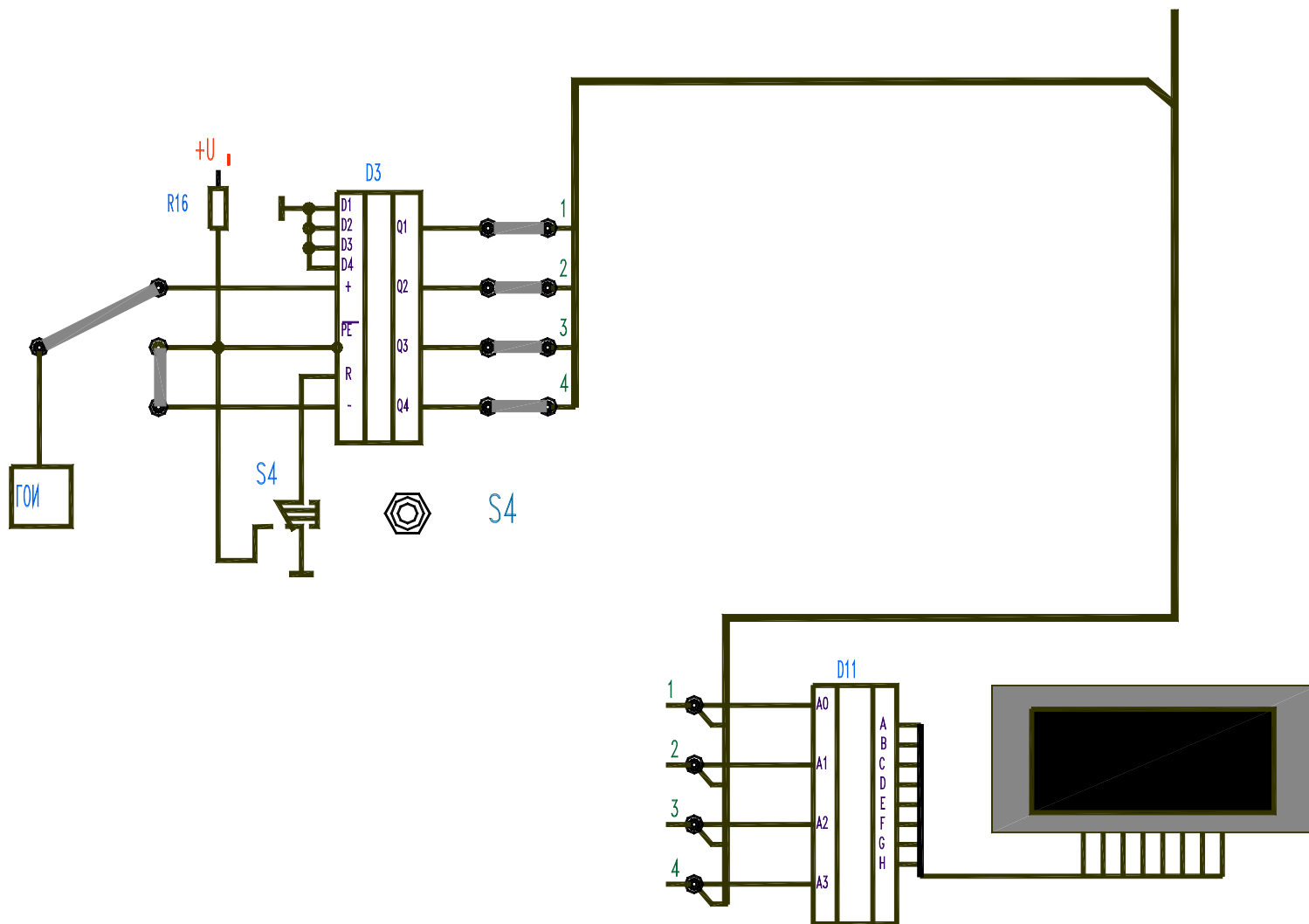


Рисунок 5.3 – Инкрементирующая счетная схема

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 одноконтурные и многоконтурные.

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

В *многоконтурных* 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 (столы, 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 (рис. 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.

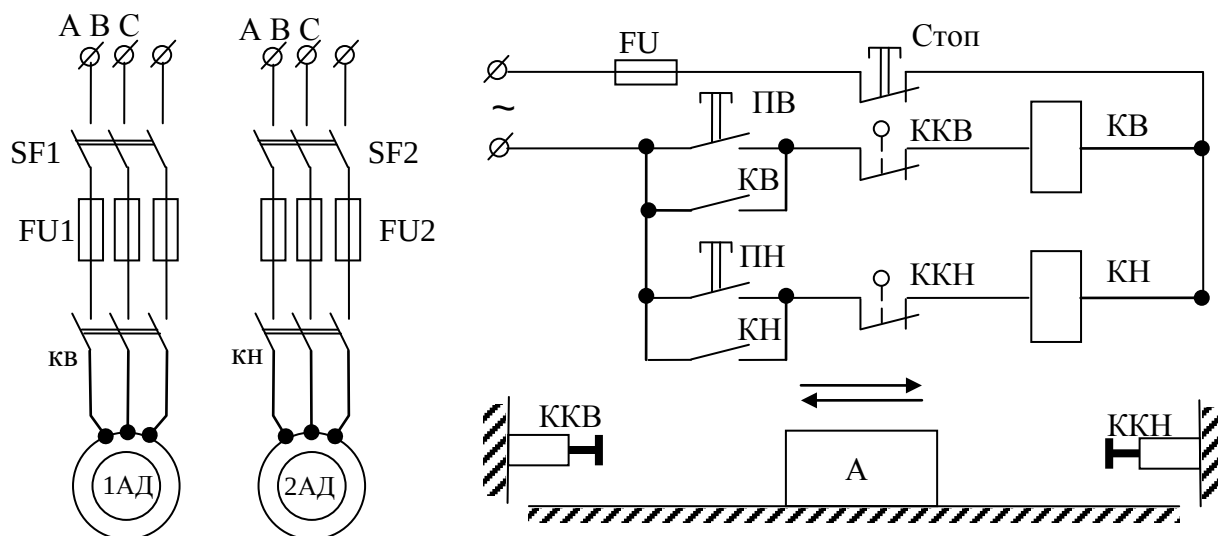


Рисунок 6.1 – Схема путевого принципа управления двигателями

2. Управление скоростью двигателя на определенном участке пути.

Узел, представленный на рис. 6.2, дает 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.

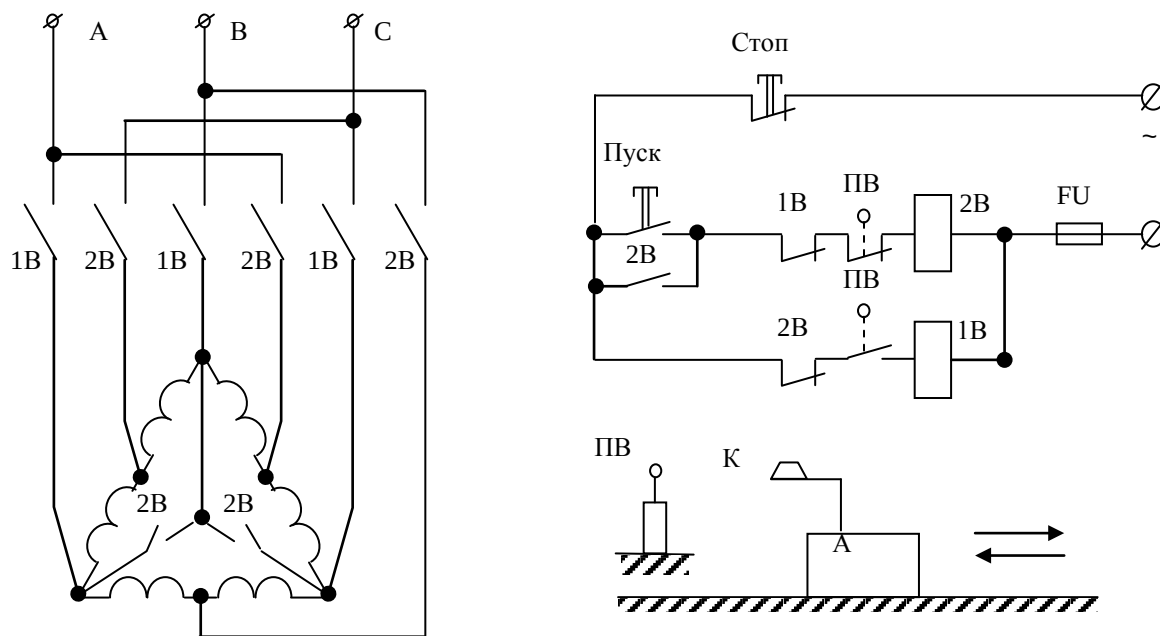


Рисунок 6.2 – Схема путевого управления скоростью двигателя

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) (рис. 6.3).

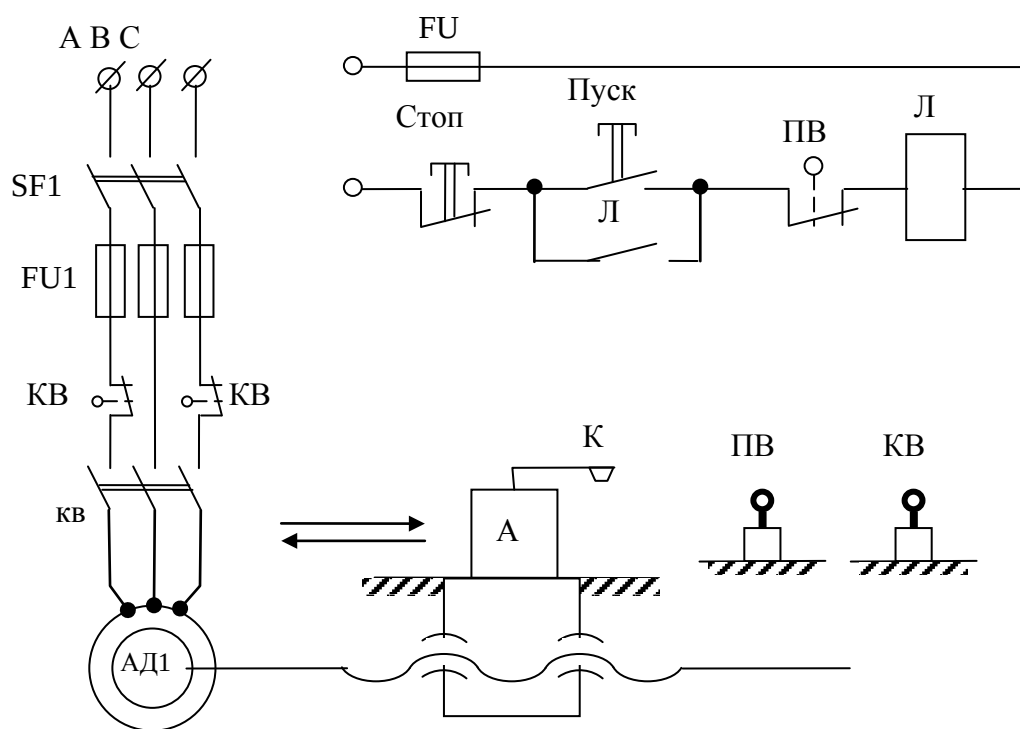


Рисунок 6.3 – Схема управления с ограничением перемещения

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, 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 (табл. 6.1).

Таблица 6.1

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

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

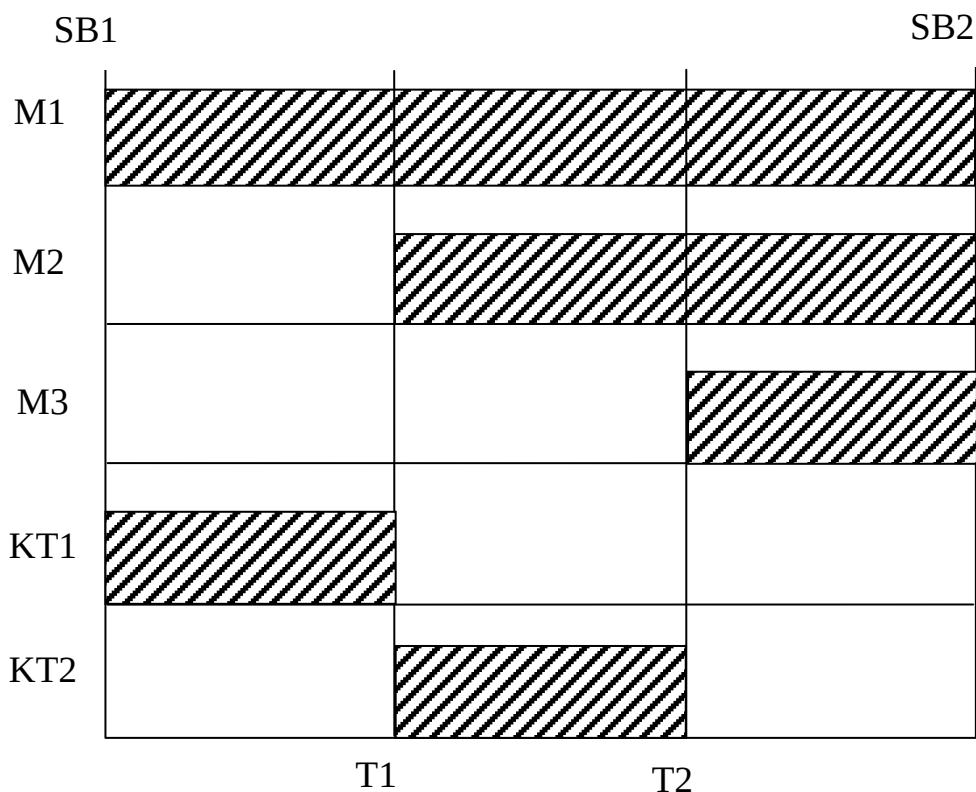


Рисунок 6.4 – Тактограмма работы схемы

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 рис. 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.

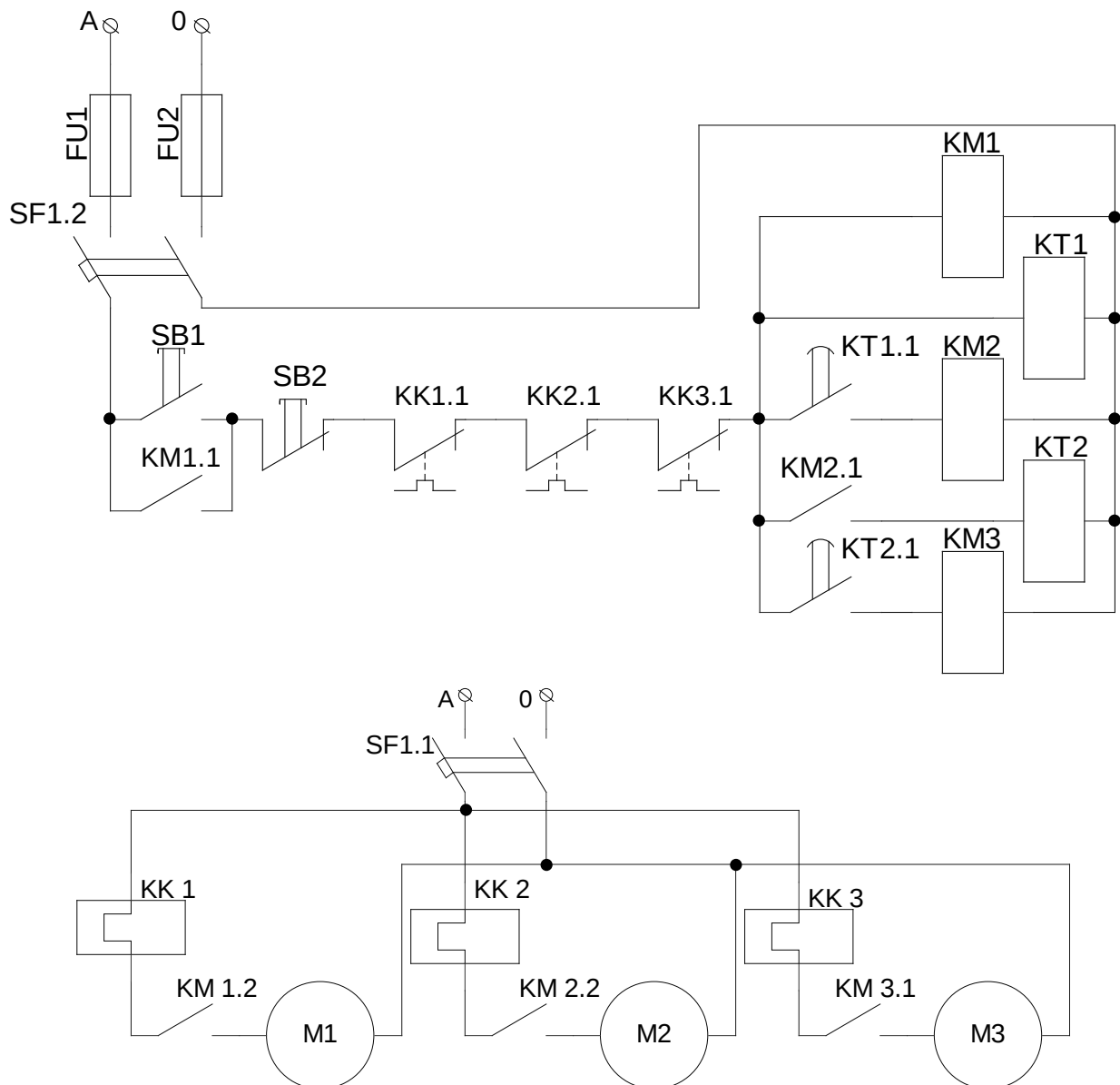


Рисунок 6.5 – Схема управления по функции времени

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 рис. 6.6 показано устройство реле постоянного тока.

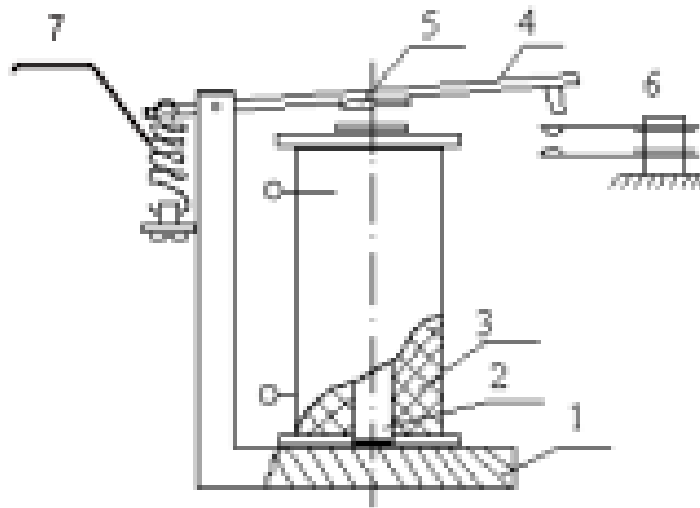


Рисунок 6.6 -Устройство реле постоянного тока

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 $K_3 = \frac{I}{I_{ср}}$, коэффициент возврата $K_v = \frac{I_{отп}}{I_{ср}}$, время срабатывания $t_{ср}$ и время отпускания $t_{отп}$. На рис. 6.7 показаны закономерности изменения тока в обмотке реле при его включении (кривая 1) и выключении (кривая 2).

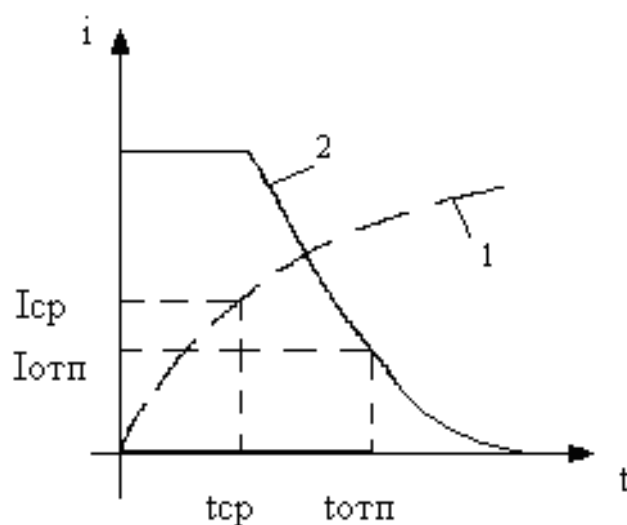


Рисунок 6.7 – График переходного процесса работы реле постоянного тока

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему управления тремя двигателями (рис. 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_u , позволяющей изменять индуктивность основной (рабочей) обмотки W_p за счет подмагничивания материала сер-

дечника при протекании по управляющей обмотке постоянного тока I_y (рис. 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 $B=f(H)$ (рис.7.2).

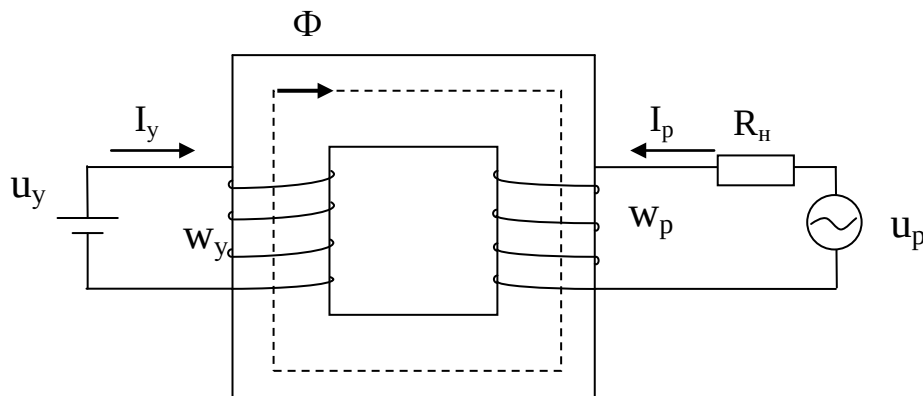


Рисунок 7.1 – Дроссельный магнитный усилитель

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 $\Phi_{\sim}$, а следовательно, и магнитную индукцию $B_{\sim}$ (рис. 7.2). Проектируя значение индукции на кривую намагничивания, находим изменения напряженности поля $H_{0\sim}$.

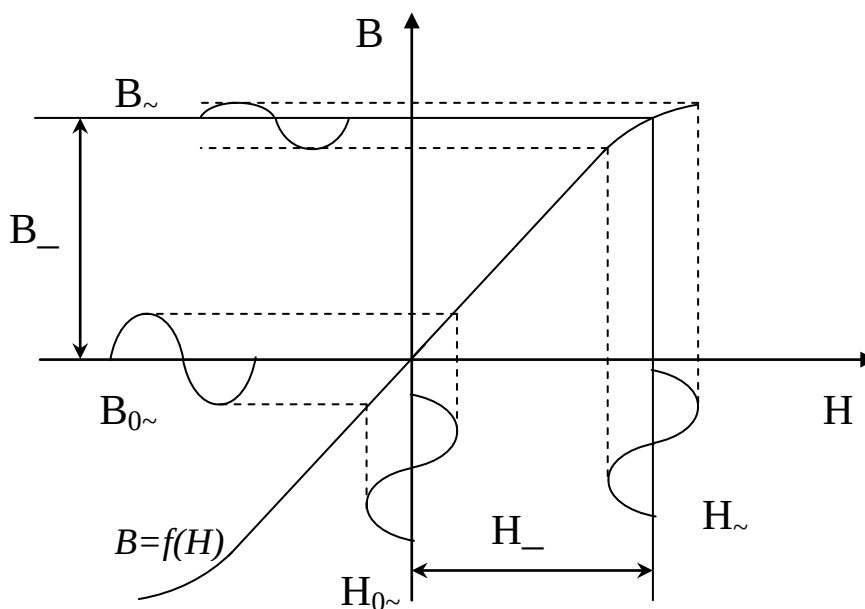


Рисунок 7.2 – Кривая намагничивания

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:

$$\mu_{\sim} = \frac{B_{\sim}}{\mu_0 H_{\sim}}.$$

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

Ошибка! Закладка не определена.

$$L_p = \frac{W_p^2 \cdot S}{\mu_0 \cdot \mu_{\sim}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-5} \cdot W_p^2 \cdot S}{L} \cdot \mu_{\sim} = k \cdot \mu_{\sim},$$

где $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-5}$ – 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:

$$I_p = \frac{U_p}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}.$$

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 $\Phi_{\sim}$, 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 (рис.

6.5). 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 рис. 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 7 мА (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 $Z = f(I_y)$.

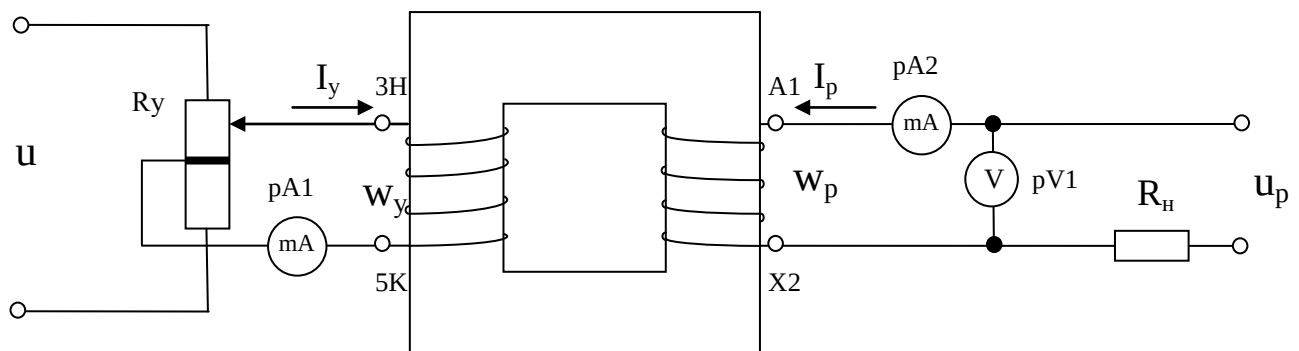


Рисунок 7.3 – Лабораторная схема дроссельного магнитного усилителя

Таблица 7.1

I_y, mA	0	1	2	3	4	5	6	7
I_n, mA								
U, B								
Z, Om								

2. Собрать схему (рис. 7.4). Снять характеристику “вход – выход” ($I_n = f(I_y)$) для дроссельного магнитного усилителя.

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

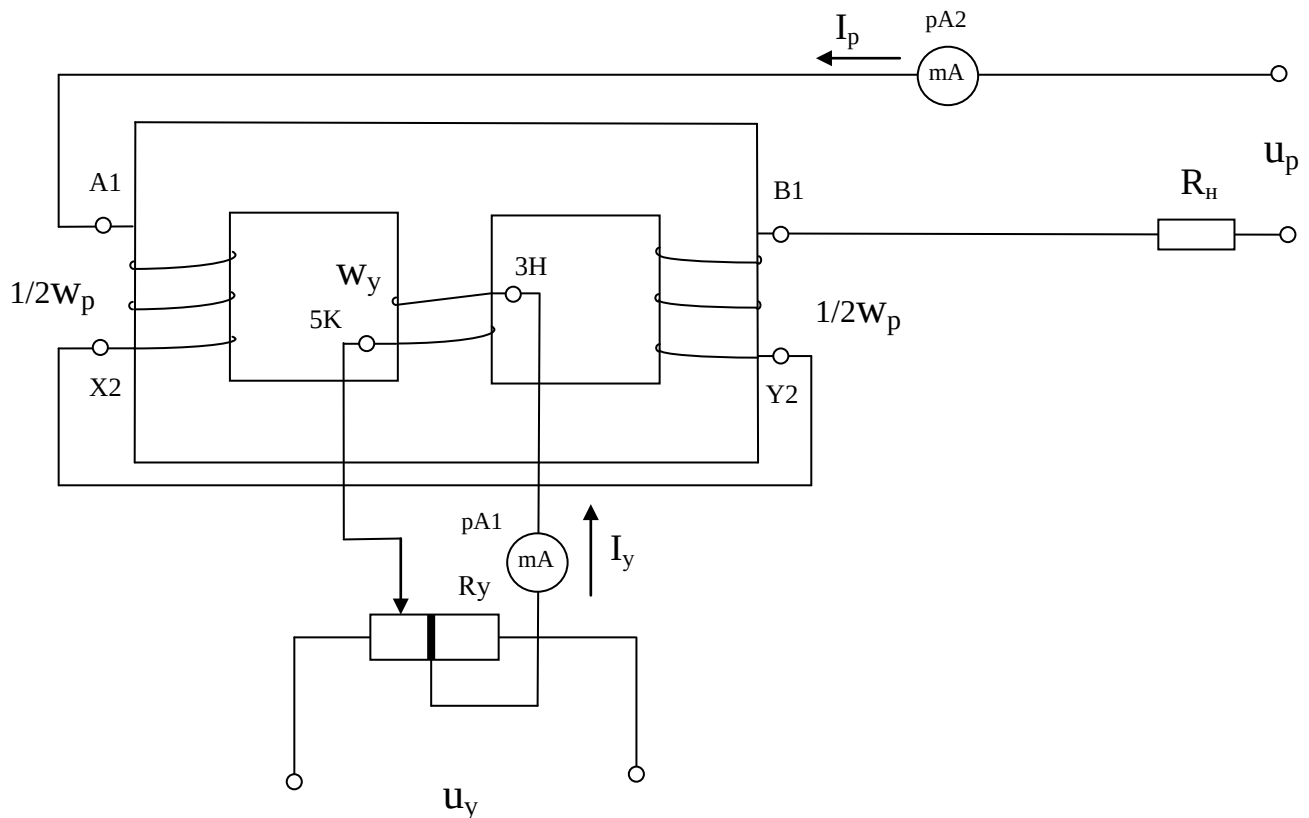


Рисунок 7.4 – Лабораторная схема симметричного магнитного усилителя

Таблица 7.2

I_y, mA	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
I_n, mA															

3. Собрать схему рис. 7.5. Снять характеристику "вход – выход" $I_n = f(I_y)$ для дроссельного МУ с обратной связью. Изменяя ток управления I_y от $+7\text{mA}$ до 0, измерить величину рабочего тока I_p для случая положительной обратной связи; изменяя I_y от -7mA 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, mA	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
I_n, mA															

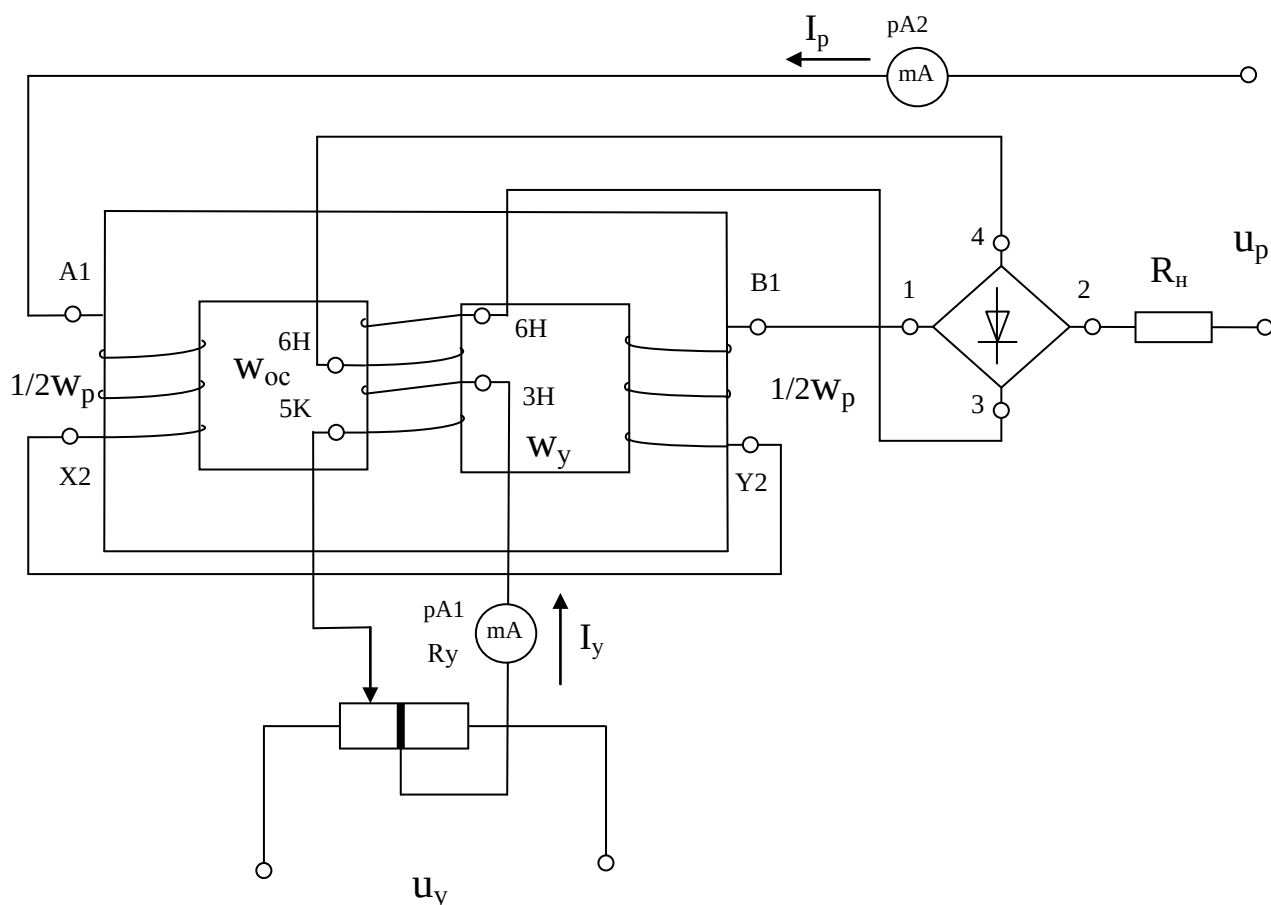


Рисунок 7.5 – Лабораторная схема магнитного усилителя с обратной связью

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 $K_i = \text{Ошибка! Закладка не определена.}$ **Ошибка! Закладка не определена.** $\frac{\Delta I_n}{\Delta I_y}$ **Ошибка! Закладка не определена.**;

- по напряжению $K_u = \frac{\Delta I_p}{\Delta I_y} \cdot \frac{R_n}{R_y} = K_i \cdot \frac{R_n}{R_y}$;

- по мощности $K_p = \frac{\Delta I_p^2}{\Delta I_y^2} \cdot \frac{R_n}{R_y} = K_i \cdot K_u$.

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

Таблица 7.4

K	K_i	K_u	K_p
Без ОС			
ОС полож.			
ОС отр.			

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.

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. Волчкович, Л. И. Автоматизация производственных процессов : учебное пособие для студентов вузов / Л. И. Волчкович. 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 : УП «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.