

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ

**Московский инженерно–физический институт
(государственный университет)**

**В.М. Журомский
В.П. Иванов**

**Система автоматического
управления температурой электронагревательного элемента**

Лабораторная работа

МОСКВА 2008

УДК 681.51(076.5)

ББК 32.965я7

Ж92

Жуromский В.М. Иванов В.П. Система автоматического управления температурой электронагревательного элемента. М.: Лабораторная работа МИФИ, 2008. - 25с.

Лабораторная работа предназначена для студентов групп Ф9-10а, Ф9-10б, Ф7-10а, Ф710б. по курсам «Основы теории систем автоматического управления процессами молекулярно – селективных технологий», «Системы автоматического управления процессами молекулярно – селективных технологий» специальности «Физика кинетических явлений».

Лабораторная работа реализована на, общепромышленных средствах измерения, автоматического управления и воздействия на процесс. Описание содержит краткую характеристику примененных технических средств, методику экспериментальной идентификации объекта управления, теоретические основы анализа нелинейных систем управления методом гармонического баланса, пример анализа и практические рекомендации по настройке системы управления.

Рецензент Наумов В.И.

Рекомендовано к изданию редсоветом МИФИ.

BN 5-7262-6 @ Московский инженерно- физический институт (государственный университет), 2008

Оглавление.

	стр
1.Описание лабораторной установки	4.
2.Теоретическая часть. Метод гармонического баланса	8.
3.Выполнение лабораторной работы.	15
5.Отчет	20
6. Контрольные вопросы	20
Список рекомендуемой литературы	22

Лабораторная работа предназначена для студентов групп Ф9-10а, Ф9-10б, Ф7-10а, Ф7-10б по курсам «Основы теории систем автоматического управления процессами молекулярно – селективных технологий», «Системы автоматического управления процессами молекулярно – селективных технологий» специальности «Физика кинетических явлений».

.Цель работы:

1.Изучение принципа работы и параметров промышленных элементов автоматики, из которых составлена САУ.

2.Экспериментальная идентификация электронагревательного элемента как объекта управления методом переходной функции.

3.Расчет системы управления методом гармонического баланса с релейным 3-х позиционным законом управления с целью предсказания наличия или отсутствия автоколебаний, изменения параметров автоколебаний или ликвидации автоколебательного режима.

4.Моделирование системы в среде МАТЛАБ (Simulink) для подтверждения расчетных данных по наличию или отсутствию автоколебаний, оценок частоты и амплитуды автоколебаний, устранения автоколебательного режима.

5.На основании инженерного расчета САУ, подтвержденного моделированием – установка настроечных параметров промышленного регулятора САУ.

6 -Экспериментальная проверка расчета САУ.

Аппаратурное решение системы управления не является оптимальным – но предназначенным прежде всего для наглядного представления процессов автоматического управления

1. Описание лабораторной установки

Блок-схема САУ показана на рис. 1 (см. также рис. 2).

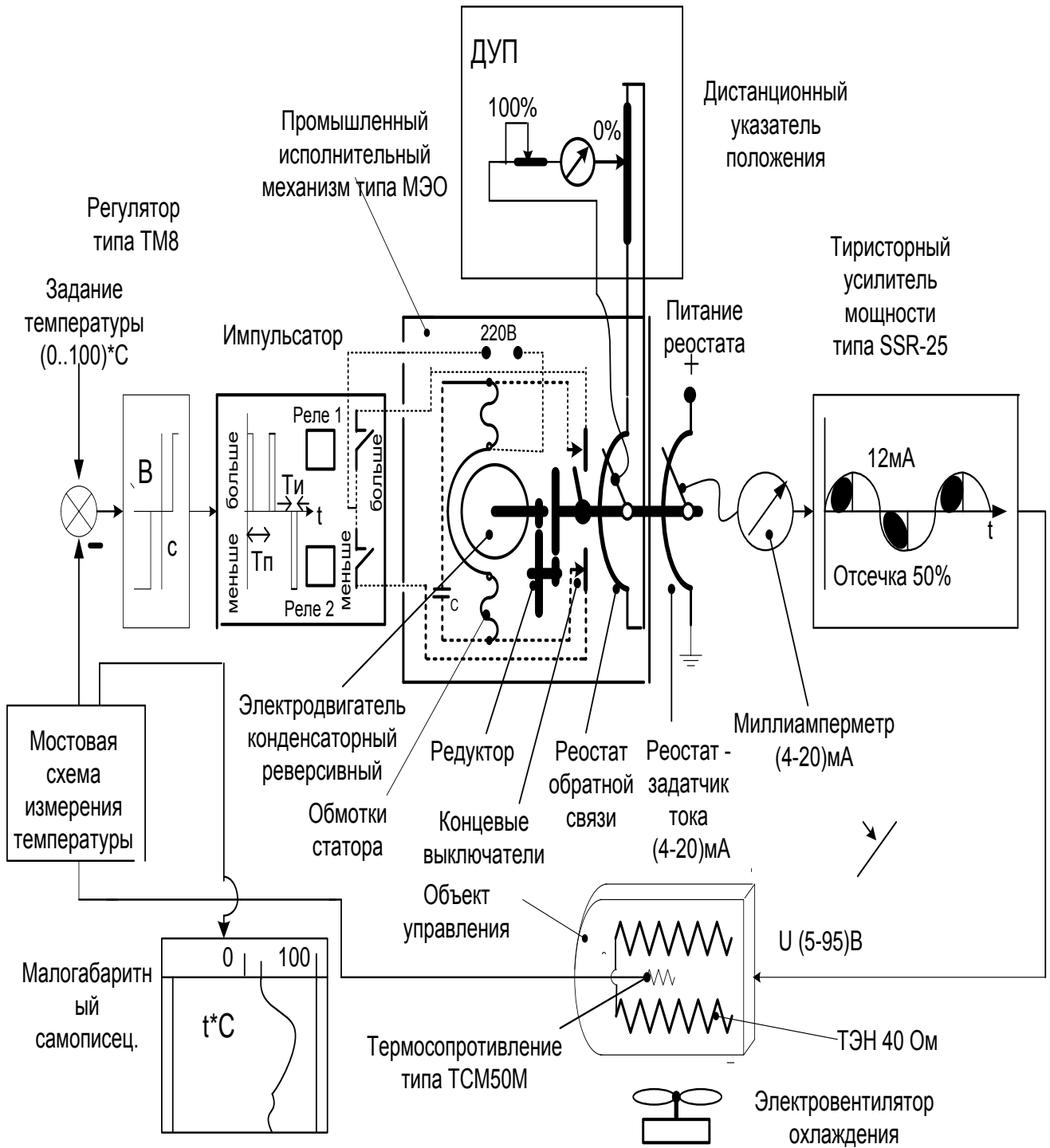


Рис. 1..... Блок – схема системы управления охлаждаемый потоком воздуха от вентилятора.

Объектом управления является специальный электронагревательный элемент /обычно устройства такого назначения обозначают как «ТЭН»/, охлаждаемый потоком воздуха от вентилятора. Активное сопротивление ТЭН равно 40 Ом, напряжение питания не более 95 В, максимальная температура не более 120⁰С.

Вентилятор предназначен для создания возмущающих воздействий по интенсивности охлаждения ТЭН. (см. рис. 2). Вентилятор может быть включен на среднюю, полную мощность и выключен. (см. рис. 1).

Температура объекта измеряется термосопротивлением медным специальным малоинерционным градуировки ТСМ 50М. Мостовая измерительная схема, включающая ТСМ, является частью схемотехнического решения **регулятора ТМ8**. Точность измерения температуры - +/- 0.5⁰С.

Температура объекта показывается и записывается быстродействующим малогабаритным самописцем типа Н3092. Скорость диаграммной ленты 60мм/ч. Шкала (0-1) мА соответствует температуре (0-100)⁰С. Основная погрешность показания и записи – не более +/-1 % от полной шкалы.

Регулятор температуры типа ТМ8 - релейный, 3-позиционный, с функцией настройки (за счет импульсного управления) средней скорости вращения выходного вала промышленного исполнительного механизма (ИМ) постоянной скорости. Параметры импульсного управления ИМ постоянной скорости устанавливаются на задней стенке регулятора (длительность импульса T_u (0.5-10) с, длительность паузы T_n (10-300) с).

Регулятор имеет: - лимб установки заданной температуры стабилизации в пределах (0-100)⁰С; стрелочный указатель температуры, измеряемой датчиком ТСМ 50М в пределах (0..100)⁰С с точность +/-1⁰С; настраиваемую в пределах (0.5...10)⁰С отверткой «под шлиц» зону нечувствительности 3 - позиционного закона управления.

Реальная зона нечувствительности определяется экспериментально при минимальных значениях T_u , T_n пробными смещениями ручки « задания » температуры ТМ8 в окрестности совпадения измеренной и реальной температур (по индикатору температуры ТМ8): При этом отмечают по шкале значения « задания » срабатывания реле на «краях» зоны нечувствительности;

тумблер переключения управления исполнительным механизмом режимов «ручной»/«автоматический»;

кнопки управления исполнительным механизмом «больше»/«меньше» при ручном управлении ИМ;

встроенные «Реле 1», «Реле 2» для управления ИМ на увеличение / уменьшение угла поворота выходного вала.

индикаторы срабатывания встроенных реле, управляющих направлением хода исполнительного механизма (увеличение / уменьшение угла поворота выходного вала);

Промышленный исполнительный механизм постоянной скорости типа МЭО включает:

электродвигатель однофазный конденсаторный (40 Вт. $C = 4$ мкФ) с частотой вращения ротора 1450 об/мин. При включенных в регуляторе ТМ8 «Реле 1» или «Реле 2» конденсатор С подключается к одной из автономных обмоток электродвигателя, в результате чего вращающееся электромагнитное поле статора меняет направление на противоположное и происходит реверс направления вращения ротора. При отключенных «Реле 1» и «Реле 2» (когда измеряемая величина температуры в ТМ8 находится в пределах зоны нечувствительности С) ротор двигателя не вращается;

редуктор, понижающий угловую скорость выходного вала ИМ до величины 180 угл. град. за 20 с («время хода» $T_x = 20$ с);

настраиваемые концевые выключатели, ограничивающие перемещение выходного вала ИМ в пределах не более 180 град.

реостат – потенциометр обратной связи $R = 200$ Ом, который образует мостовую схему совместно с элементами дистанционного указателя угла положения /см. ДУП/ выходного вала ИМ (индикация (0...100) % угла поворота выходного вала ИМ).

Задатчик - потенциометр (на выходном валу ИМ) формирует стандартный унифицированный сигнала (4 – 20) мА управления аналоговым тиристорным усилителем мощности типа **SSR-25**. Сигнал (4 – 20) мА пропорционален углу поворота выходного вала ИМ в диапазоне (0...180) угловых град.

Встроенный миллиамперметр предназначен для контроля входного для SSR-25 унифицированного сигнала (4-20) мА.. Диапазон измерения –(0...20) мА.

Аналоговый тиристорный усилитель /ТУ/ мощности типа SSR-25 (номинальное напряжение (90-220) В. Максимальный ток нагрузки - 25А. Нагрузка – только активное сопротивление). ТУ предназначен для пропорционального входному сигналу (4-20) мА управления мощностью нагрева ТЕН за счет фазовой модуляции (отсечки части периода) синусоидального тока в нагрузке, пропорциональной управляющему сигналу. Например, при сигнале 12 мА отсекается 50 % отрицательного и положительного полупериодов) переменного тока.

Все технические средства системы расположены на двух блоках-панелях, соединенных кабелями с разъемами. Расположение элементов системы показано на рис. 2.

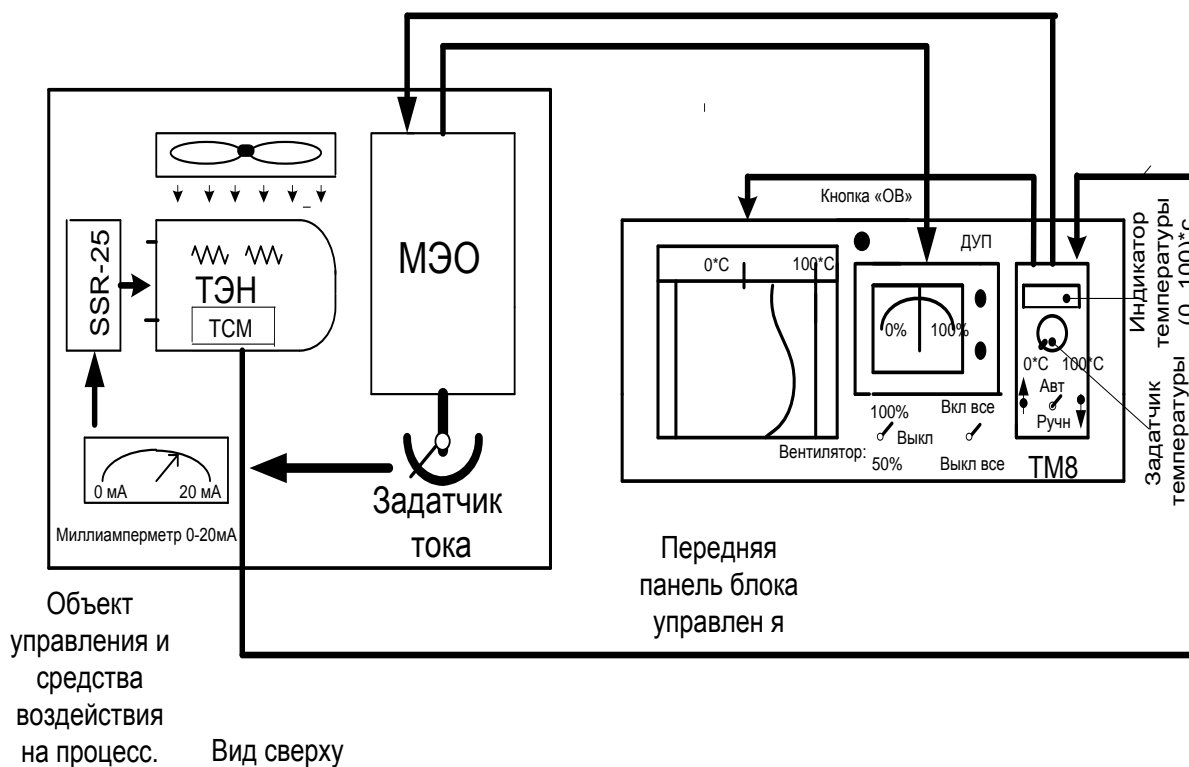


Рис.2. Лабораторный стенд.

Блок управления содержит регулятор ТМ8, дистанционный указатель положения выходного вала исполнительного механизма (ДУП), малогабаритный самописец НЗ092. Сигнал для показаний и записи температуры самописцем НЗ092 инициируется специальным аналоговым (0-5) мА сигналом, пропорциональным в масштабе (0-5) мА измеряемой регулятором ТМ8 температуре в диапазоне $(0 \dots 100)^{\circ}\text{C}$.

Панель объекта управления и средств воздействия на процесс содержит исполнительный механизм типа МЭО с реостатом – задатчиком тока управления для ТУ типа SSR-25, измеритель (миллиамперметр) тока управления SSR-25, объект управления – ТЕН с датчиком ТСМ 50М и управляемый вентилятор обдува. Мощность вентилятора управляется дискретно с панели блока управления («средняя»/«полная»/«отсутствует»).

2. Теоретическая часть. Метод гармонического баланса

Структурная схема системы имеет вид, показанный на рис. 3.

Известно, что метод гармонического баланса основан на допущении фильтрации линейной частью системы управления высших гармоник сигнала на выходе нелинейного элемента (НЭ) (рис. 3).

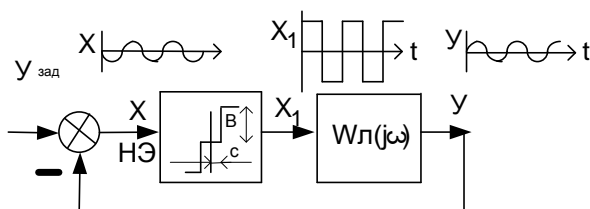


Рис. 3. Структурная схема системы

При линейной части системы второго (и более) порядка в автоколебательном режиме САУ на выходе объекта имеет место практически гармонический сигнал (рис. 3), который поступает на вход НЭ.

В силу того, что на процесс управления реально влияют только параметры первой гармоники от периодического, ступенчатой формы (вида x_1 на рис. 3), сигнала на выходе нелинейного элемента $F(x)$ (рис. 4), то его возможно характеризовать коэффициентом передачи по первой гармонике как отношение амплитуды первой гармоники на выходе НЭ к амплитуде входного гармонического сигнала $x = A \sin \psi$, где $\psi = \omega t$, и фазовым сдвигом первой гармоники сигнала на выходе НЛ элемента по отношению к входному гармоническому сигналу $x = A \sin \psi$.

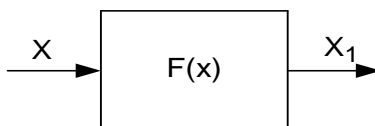


Рис. 4. Нелинейный элемент

Характеристики НЭ не зависят от частоты ω , но зависят от амплитуды A входного гармонического сигнала $x = A \sin \psi$.

Периодические колебания на выходе НЭ при симметричных колебаниях на входе описываются уравнением

$$x_1 = F(A \sin \psi)$$

Первая гармоника периодических колебаний на выходе НЭ

$$x_1 = a_1 \sin \psi + b_1 \cos \psi$$

определяется разложением функции $x_1 = F(A \sin \psi)$ в ряд Фурье.

Коэффициенты Фурье для первой гармоники есть

$$a_1(A) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi) \sin \psi \quad b_1(A) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi) \cos \psi$$

Для однозначной нелинейности типа «3-х позиционное реле» $b_1 = 0$

Тогда коэффициент гармонической линеаризации

$$a(A) = \frac{a_1}{A} = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi) \sin \psi$$

устанавливает связь между первой гармоникой периодических колебаний на выходе НЭ с синусоидальными колебаниями на его входе как отношение амплитуды первой гармоники на выходе нелинейного элемента к амплитуде A входного гармонического сигнала $x = A \sin \psi$.

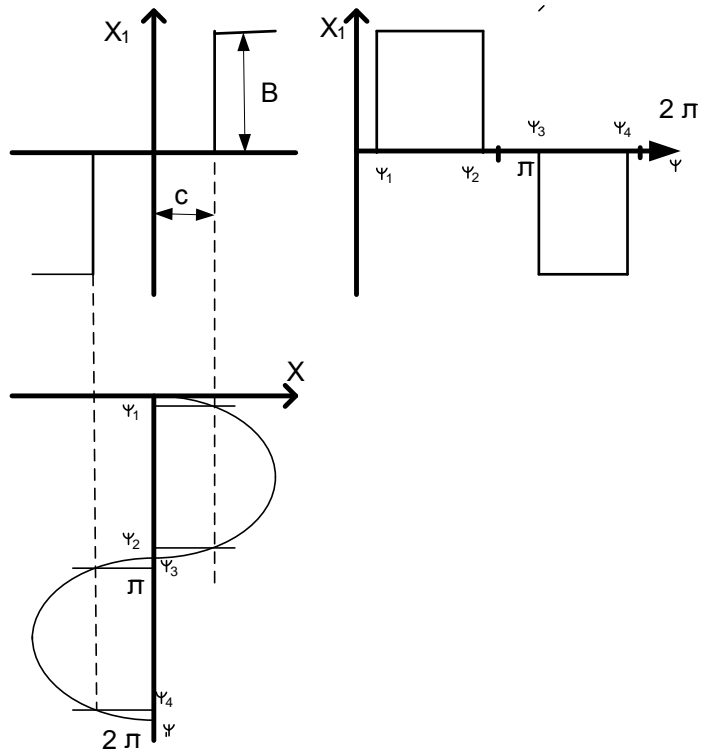


Рис. 5. Вычисление коэффициента гармонической линеаризации для 3- позиционного реле.

Согласно рис. 5

$$a(A) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi) \sin \psi d\psi = \frac{4}{\pi A} \int_{\psi_1}^{\pi/2} B \sin \psi d\psi =$$

$$\frac{4B}{\pi A} \cos \psi_1 = \frac{4B}{\pi A} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{A}\right)^2} = \frac{4B}{\pi c \frac{A}{c}} \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{A}{c}\right)^2}}$$

где $\psi_1 = \arcsin \frac{c}{A}$ и $\frac{A}{c} \geq 1$

При замене на обобщенный параметр $\frac{A}{c} = \mu$, получаем

$$J(\mu) = \frac{4B}{\pi c} \frac{\sqrt{\mu^2 - 1}}{\mu^2},$$

где $J_o(\mu) = \frac{\sqrt{\mu^2 - 1}}{\mu^2}$ - эквивалентная нормированная характеристика нелинейного элемента, зависящая от характерной его формы. При $\mu = \sqrt{2}$ имеет место экстремум $J_o(\sqrt{2}) = 0.5$.

$K_n = \frac{4B}{\pi c}$ - линейная часть нелинейного элемента, зависящая от конкретных параметров нелинейности.

Эквивалентная логарифмическая характеристика нелинейного элемента имеет вид рис. 6.

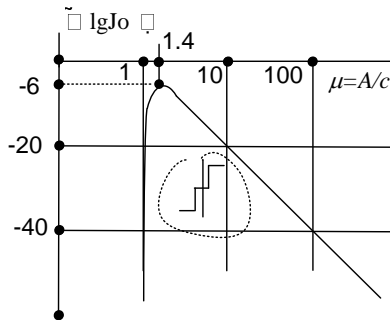


Рис. 6. Эквивалентная логарифмическая нормированная характеристика НЭ типа «3-позиционное реле».

Наличие или отсутствие автоколебаний в системе определяется совместностью или несовместностью решений условий «баланса амплитуд и баланса фаз».

В нелинейной САУ отрицательный фазовый сдвиг φ определяется не только частотой $\varphi_n(\omega)$, но и амплитудой A входного $x = A \sin \psi$ для нелинейного элемента гармонического сигнала $\varphi_n(A)$ и уравнение баланса фаз имеет вид

$$\varphi_n(A) + \varphi_n(\omega) = -\pi, \quad (1)$$

Так как 3- позиционный (однозначный) НЭ не вносит фазовых сдвигов по первой гармонике, уравнение баланса фаз имеет вид

$$\varphi_n(\omega) = -\pi \quad (2)$$

Усиление в нелинейной САУ зависит от частоты ω линейной ее части $|W_p(j\omega)|$ и от величины коэффициента передачи НЭ по первой гармонике, зависящего от амплитуды A входного для НЭ сигнала согласно

$$J(\mu) = K_n J_o(\mu), \text{ где } \mu = A/c.$$

Тогда уравнение баланса амплитуд имеет вид

$$K_n J_o(\mu) |W(j\omega)| = 1 \quad (3)$$

или

$$K_n |W(j\omega)| = \frac{1}{J_o(\mu)} \quad (4)$$

Автоколебания существуют при совместном решении уравнений баланса фаз (2) и баланса амплитуд (4).

Для инженерных приложений целесообразен графоаналитический способ решения уравнений баланса фаз и амплитуд на логарифмической плоскости.

Для этого представим уравнение (4) в виде

$$20 \lg K_n |W(j\omega)| = -20 \lg J_o(\mu) \quad (5)$$

Процедуру анализа САУ при графоаналитическом решении уравнения баланса фаз и амплитуд рассмотрим на конкретном примере системы вида рис. 3, где для нелинейного элемента зона нечувствительности $C = 3^{\circ}C$, $B = 1$, а линейная часть имеет передаточную функцию, например,

$$W = \frac{3}{p(30p+1)(10p+1)}.$$

Прежде всего определим $K_n = \frac{4B}{\pi c} = \frac{4 \cdot 1}{3.14 \cdot 3} = 0.42$.

Тогда коэффициент передачи линейной части системы K_c есть

$$K_c = K_n \cdot 3 = 0.42 \cdot 3 = 1.26.$$

В левой части листа строим ЛАФЧХ (Логарифмическую Амплитудно - Фазовую Частотную Характеристику) линейной части системы с учетом значения K_c , а в правой – обратную нормированную логарифмическую характеристику нелинейного НЭ элемента вида рис. 6, как показано на рис. 7.

Совместность или несовместность решения уравнения баланса фаз и амплитуд определяется следующим образом:

Автоколебания возможны только на частоте ω_a , где фазовый сдвиг $\varphi(\omega_a) = -\pi$. Из точки ω_a проводим вертикаль до пересечения с ЛАЧХ линейной части.

Из этой точки пересечения проводим горизонтальную линию вправо на поле $J_o(\mu)$. Если есть пересечение этой линии с $J_o(\mu)$, то существует совместное решение уравнений (2), (5) и, следовательно, автоколебания определенной частоты ω_a и амплитуды A_a .

Характеристика $J_o(\mu)$ двузначна. Только одно решение соответствует устойчивым автоколебаниям. Для выявления устойчивых автоколебаний мысленно увеличим амплитуду автоколебаний индицируемых, например, пересечением горизонтальной линией с правой ветви $J_o(\mu)$. По методике построения рис. 7 такое увеличение приводит к появлению положительного «запаса по фазе», что является признаком устойчивости автоколебаний. Амплитуду автоколебаний A_a определяют из соответствия $\mu_a = A_a / C$.

Если горизонтальная линия проходит ниже 5[дБ] графика $-20 \lg J_o(\mu)$, то совместного решения (2), (5) нет и автоколебания в системе отсутствуют.

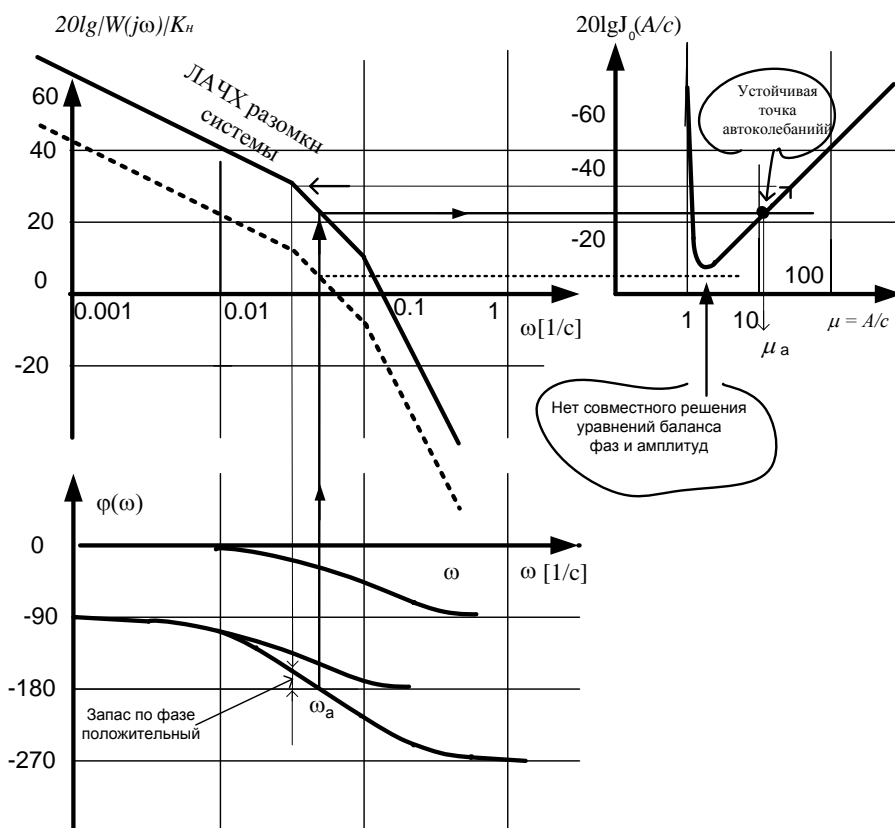


Рис. 7. Графоаналитический метод анализа автоколебательного режима САУ структуры рис. 3.

На рис. 7 при коэффициенте усиления $+K_c = .26$ частота автоколебаний $\omega_a = 0.04\text{с}^{-1}$ с периодом $T_a = 2\pi/\omega_a$, т.е. $T_a = 157\text{с}$ и амплитудой $\mu_a = 11 = A_a/c$, откуда, при величине «зоны нечувствительности» $c = 3^\circ\text{C}$ получаем $A_a = 33^\circ\text{C}$.

Для уменьшения амплитуды автоколебаний необходимо уменьшать величину K_c .

Для ликвидации автоколебаний необходимо уменьшить коэффициент усиления на 20дБ 10 раз) так, чтобы не было совместного решения уравнений баланса фаз и амплитуд, как показано на рис. 7 пунктиром.

3. Выполнение лабораторной работы

1. Перед выполнением лабораторной работы изучается раздел «Теоретическая часть», состав, характеристики, взаимодействие элементов системы при автоматической стабилизации температуры, в том числе при действии возмущений в виде изменяемой интенсивности воздушным потоком, охлаждающего ТЕН.

2. Выполнение работы начинается с включения стенда (тумблер «включается все»), и вентилятора на среднюю мощность обдува (тумблер «Вентилятор», в положении «W «средняя»)

3. Регулятор ТМ8 переводится в ручной режим управления ИМ. Устанавливается угол поворота выходного вала (40-50) % (шкала ДУП) кнопками ручного управления ИМ, включается самописец. Отмечается угол поворота выходного вала α [%], значение тока I мА на входе ТУ

4. По виду записи изменения температуры на диаграммной ленте самописца выжидается время установления переходных процессов в объекте.

5. При установившемся значении температуры по п.4 создают скачкообразное возмущение по входной мощности нагрева ТЭН как изменение на (10-20) % угла поворота α выходного вала от состояния ИМ по п.4.

Одновременно нажимают кнопку «ОВ» отметки времени на диаграммной ленте самописца (см Панель управления), что приводит к кратковременному отклонению (импульсу) пишущего устройства самописца не менее чем на 4мм влево и вправо от графика регистрируемой величины.

Наблюдают переходную функцию объекта по температуре до индикации установившегося состояния температуры (до 20 мин.) (см. рис. 9).

6. По виду и параметрам переходной функции (рис. 9) определяют передаточную функцию объекта по каналу управления:

размерный коэффициент передачи K_o [$^{\circ}\text{C}/\%$] как отношение приращения температуры [$^{\circ}\text{C}$] к величине приращения угла поворота ИМ в терминах показаний [%] ДУП.

постоянную времени T [с] - как величину времени установления переходной функции по уровню 95 % от установившегося значения, деленную на 3 (см. рис. 8)

чистое запаздывание τ как время от момента подачи возмущения до начала изменения температуры объекта.

Внимание! При скорости движения диаграммной ленты 60мм/час 1 мм перемещения диаграммной ленты соответствует 60сек!

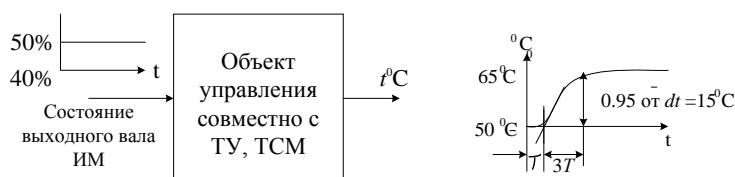


Рис. 8. К определению передаточной функции идентифицируемого объекта.

Передаточная функция $W(p) = \frac{K_o [^{\circ}\text{C}/\%]}{Tp + 1} e^{-\tau p}$. В данном случае $K_o = 1.5$.

7. Определяют переходную функцию объекта по каналу возмущения. Для этого при установившемся процессе изменения температуры в области (40...60) % показаний ДУП при ручном дистанционном управлении объектом и средней мощности работы вентилятора, переключают вентилятор на полную мощность одновременно с маркировкой момента переключения вентилятора на диаграммной ленте самописца кнопкой «ОВ».

Выжидают время установления переходной функции и аналогично рис. 8 определяют передаточную функцию объекта «по возмущению».

8. Формулируют структуру ТЭН как объекта управления по каналам управления и возмущения.

Примечание: в расчетных соотношениях при выполнении лабораторной работы передаточная функция «по возмущению» не применяется. Однако ее вид и параметры дают представление о работе системы при отработке возмущений.

9. Поводят анализ автоколебательного режима САУ методом гармонического баланса согласно рис 7.

Примечание: при построении ЛАФЧХ линейной части обращают особое внимание на особенность ЛФЧХ, включающей чистое запаздывание (обычно для данного стенда величина $\tau = 80\text{с}$; $\varphi = \omega \cdot 57 \cdot \tau$ [град.]).

Определяют необходимое значение коэффициента усиления разомкнутой системы, соответствующее заданным параметрам автоколебательного режима, либо отсутствию автоколебаний.

10. Изменения (уменьшение) коэффициента передачи разомкнутой рассматриваемой системы K_c возможно:

за счет величины C [°С] зоны нечувствительности НЭ (изменяется K_n), что ухудшает точность автоматического управления и поэтому является нежелательным.

импульсного управления средней скоростью ИМ.

11. Коэффициент передачи ИМ - средняя скорость движения выходного вала ИМ-уменьшается пропорционально отношению длительности импульса T_u к длительности паузы T_n (см. рис. 10), которые настраиваются переключками на задней панели ТМ8.

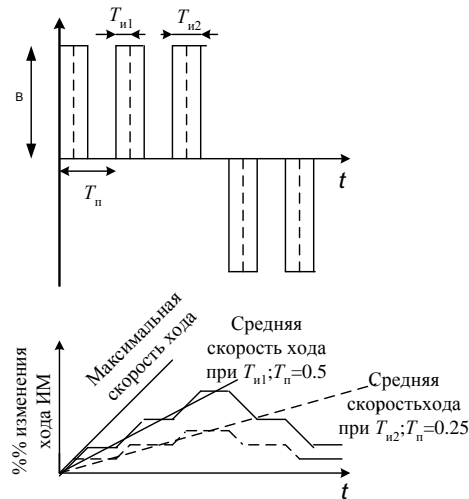


Рис. 10. Настройка средней скорости хода ИМ (коэффициента передачи ИМ) импульсным управлением.

12. При выборе T_u , T_n следует учитывать, что величина T_u должна быть по возможности малой, чтобы возникающее квантование полного хода ИМ, равного 180 град. (или 100% по показаниям ДУП), не было избыточно грубым. Например, при ходе ИМ равным 180 град. и времени хода $T_x = 20$ с, средняя скорость вращения выходного вала ИМ равна 9 град/с (или 5 %/с).

При $T_u = 1$ с угловой квант перемещения ИМ равен 9 град. и всего число квантов равно 20.

При $T_u = 3$ с квант перемещения равен 27 град. и число квантов равно шести в полном перемещении ИМ в диапазоне (0-180) град. или (0-100) %. Грубое квантование «по уровню» ухудшает показатели работы системы и предлагаемый расчет делает неадекватным.

Целесообразно принять в практических случаях $T_u = 0.5$ с, так как при меньших значениях T_u электродвигатель общепромышленного ИМ, вследствие инерционности, не успевает «раскрутиться» до значений номинальной угловой скорости 1450 об/мин.

При ходе ИМ, равного (0-180) град. или (0-100)%, и $T_u = 0.5$ с число квантов составляет 40. Для инженерных приложений такое качество квантование по уровню приемлемо.

13. Исходное размерное значение коэффициента передачи неизменяемой части системы (без наличия импульсного управления средней скорости ИМ) определяется следующим образом:

При $B=1$ (ИМ включен) выходной вал ИМ имеет время хода $T_x = 20$ с и перемещается за это время на 180 угл. град. или (0...100)% хода ИМ по показаниям ДУП.

Следовательно коэффициент передачи ИМ равен $K_{им} = 9$ [угл. град./с] или

$K_{им} = 5$ [%/с] по показаниям ДУП.

14. Коэффициент передачи «линейной части» НЭ, зависящий от конкретных параметров ($B = 1$, $C = 3^0C$) нелинейного элемента есть $K_n = \frac{4B}{\pi c} = \frac{4 \cdot 1}{3.14 \cdot 3} = 0.42 \frac{1}{^0C}$. Коэффициент передачи объекта управления $K_o = 1.5[^0C/\%]$ определен ранее по результатам экспериментальной идентификации объекта (п.6). $K_{им} = 5$ [%/с].

Тогда коэффициент передачи разомкнутой системы K_c

$$K_c = K_n K_{им} K_o = 0.42 \left[\frac{1}{^0C} \right] 5 \left[\frac{\%}{с} \right] 1.5 \left[\frac{^0C}{\%} \right] = 3.15 [1/$$

15. Однако согласно рис. 7 величина $K_c = 1.26$ [1/с].

16. В соответствии с расчетными данными определяются и выставляются на регуляторе ТМ8 настроечные параметры необходимой средней скорости ИМ - T_u , T_n как ближайшие к штатным, предусмотренным в регуляторе ТМ8 следующим образом:

Если $K_c = 1.26 = 0.42 K_{им} 1.5$., то требуемая величина $K_{им} = 2$ [%/с].

Следовательно, требуется уменьшить скорость вращения выходного вала ИМ в $5[\%/с] / 2[\%/с] = 2.5$ раза. Выбираем настройки регулятора $T_u = 1$ с, $T_n = 2.5$ с.

17. Проводятся экспериментальное изучение работы системы в режиме стабилизации заданной температуры при отработке изменения «задания» по температуре; при наличии возмущений при неизменном задании по температуре. Возмущающее воздействие создается изменением мощности обдува ТЭН, в том числе прекращением обдува (выключением вентилятора).

18. Сравнение расчетных, полученных моделированием, результатов проводится на основании сравнения записей температуры на диаграммной ленте самописца. Совпадение экспериментальных результатов с расчетными и моделирования обычно не превышает 10%.

4. Отчет.

Отчет должен содержать

- 1) Блок–схему, структурную схему системы.
- 2) Результаты идентификации объекта управления.
- 3) Анализ САУ методом гармонического баланса на логарифмической плоскости.
- 4) Результаты моделирования в среде МАТЛАБ.
- 5) Сравнение расчетных, моделирования и экспериментальных результатов.
- 6) Краткое, по существу, заключение о работе.

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте физическую основу метода гармонической линеаризации.
2. Почему метод гармонического баланса позволяет при анализе САУ ограничиться характеристиками нелинейного элемента по первой гармонике?
3. Проведите вычисление эквивалентной характеристики нелинейного элемента.

4. Что является основой анализа автоколебательного режима на логарифмической плоскости
5. Каким образом определяется «баланс фаз и амплитуд» при графоаналитическом анализе автоколебательного режима на логарифмической плоскости
6. Камими способами возможно изменять коэффициент усиления разомкнутой системы?
7. Возможно ли в САУ с трехпозиционным нелинейным элементом обеспечить отсутствие автоколебаний?
8. Как работает система управления температуры ТЭН в представленной реализации?
9. Какие настроечные параметры регулятора типа ТМ8 используются в данной работе?
10. Что означает термин-характеристика типа «ТСМ 50М».
11. Назовите основные элементы, комплектующие промышленный исполнительный механизм постоянной скорости.
12. Каким образом осуществляется импульсное управление средней скоростью «промышленного исполнительного механизма постоянной скорости»?
13. Как экспериментально определить коэффициент передачи промышленного исполнительного механизма постоянной скорости как элемента автоматики?
14. Назовите основные технические параметры ТУ типа SSR-25.
15. Как производится идентификация объекта управления методом переходной функции?
16. Как определить коэффициент передачи разомкнутой системы?

Список рекомендуемой литературы

1. Филипс Ч, Харбор Р.. Системы управления с обратной связью. М: Лаборатория Базовых Знаний 2001.
2. Дорф Р., Бишоп Р.. Современные системы управления. М: Лаборатория Базовых Знаний. ЮНИМЕДИАСТАЙЛ 2002.
3. Никулин Е. Основы теории автоматического управления. Частные методы анализа и синтеза систем. СПб: «БХВ-Петербург», 2004.
4. Лурье Б.Я., Энтрайт П. Дж. Классические методы автоматического управления: Учебное пособие. СПб: «БХВ-Петербург», 2004.

Журомский Всеволод Михайлович.
Иванов Владимир Петрович

Лабораторная работа

**«Система автоматического управления
температурой электронагревательного элемента.»**

Редактор и техн. редактор Т.В. Волвенкова.....
Подписано в печатьФормат 60x84 1/16
Печ. Л. 1.00 Уч.-изд.л.1.00.
Тираж 100 экз. Изд.№..... Заказ №.....
Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)
Типография МИФИ
115409, Москва, Каширское шоссе,31.