

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НА АВМ

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
для студентов
и слушателей ФПК ИТР

КУЙБЫШЕВ 1985

Изложен метод исследования динамических характеристик изотропной системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения двигателя на АВМ. Показано влияние параметров САР на ее устойчивость и качество регулирования.

Лабораторная работа по изучению динамических характеристик САР является продолжением работ, посвященных исследованию переходных и частотных характеристик типовых звеньев САР.

Методические указания рекомендуются для студентов, обучающихся по специальностям 0537, 1610, и для слушателей ФПК ИТР по курсу «Теория автоматического регулирования».

Составитель А. Г. Г п м а д н е в

Рецензенты: Ю. Н. В и д м а н о в, В. Д. З а к а б л у к о в с к и й

Цель работы: изучение расчетных и экспериментальных методов исследования переходных характеристик и устойчивости САР; приобретение навыков работы на аналоговых вычислительных машинах (АВМ).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомление со схемой, принципом действия и математической моделью изодромной САР.
 2. Анализ устойчивости САР.
 3. Составление аналоговой модели САР и изучение порядка работы на АВМ.
 4. Набор аналоговой модели и исследование переходных характеристик САР на АВМ.
- Работа по пп. 1, 2, 3 выполняется студентами дома до проведения лабораторной работы в соответствии с заданием (см. приложение).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Схема и принцип действия САР. Система автоматического регулирования включает в себя объект регулирования — газотурбинный двигатель 1 и изодромный регулятор непрямого действия (рис. 1). Регулятор состоит из центрострейного чувствительного элемента 2, элемента сравнения — пружины 3, штока 4, задающего механизма 5, горизонтального рычага 6, золотникового распределителя 7, поршневого сервомотора 8, катаракта изодромной обратной связи 9 с пружиной 10 и исполнительного механизма — дроссельной иглы 11. Регулируемым параметром САР является частота вращения n ротора двигателя 1, а регулирующим фактором — расход топлива G_T в камеру сгорания. Управляющим воздействием является поворот рычага управления двигателя $\alpha_{руд}$.

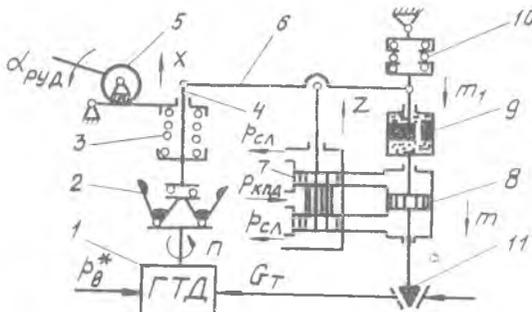


Рис. 1. Изодромная САР частоты вращения двигателя

а возмущающим воздействием — изменение давления на входе в двигатель $p_{в}^*$.

На любом установившемся режиме работы САР соблюдается равенство осевой составляющей центробежных сил грузиков 2 и силы противодействия пружины 3. Нарушение этого равенства приводит к отклонению штока 4 и действию регулятора. Пусть давление $p_{в}^*$ снизилось, что привело к увеличению частоты вращения n . При этом шток 4 под действием избыточной силы грузиков 2 переместится вверх, увлекая связанные с ним рычаг 6 и золотник 7. Верхняя полость сервопоршня 8 соединяется с каналом на выходе из клапана постоянного давления (КПД), а нижняя полость — со сливом. Под действием перепада давления $p_{кпл} - p_{сл}$ сервопоршень 8 переместится вниз и прикроет площадь дроссельной иглы 11. При постоянном перепаде давления на дроссельной игле, поддерживаемой специальным клапаном (на схеме не показан), расход топлива G_T уменьшается, что приводит к восстановлению n .

В начале переходного процесса жидкость в катаракте 9 не успевает перетечь через жиклер в поршне из нижней полости в верхнюю. Поэтому при перемещении сервопоршня 8 вниз золотник 7 также перемещается вниз к нейтральному положению. Окна золотника 7 прикрываются, что приводит к замедлению скорости движения вниз сервопоршня 8 и соответственно к замедлению скорости уменьшения расхода топлива в двигатель. Этим обеспечивается плавность переходного процесса в изодромной САР. В начальный момент переходного процесса регулятор действует как статический регулятор с жесткой обратной связью, для которого характерны плавность переходного процесса (достоинство) и наличие статической ошибки регулирования (недостаток). В конце переходного процесса рычаг 6 возвращается пружинной 10 в результате перетечки жидкости через жиклер в поршне катаракта 9 в исходное состояние, независимо от положения сервопоршня 8. При этом как бы разрывается обратная связь и регулятор действует как астатический регулятор, для которого характерны колебательный переходный процесс (недостаток) и отсутствие статической ошибки регулирования (преимущество).

Таким образом, в изодромном регуляторе реализованы положительные качества статического и астатического регуляторов.

Уравнения звеньев САР. Исследование динамических характеристик САР начинается с разбивки ее на звенья, принятия определенных упрощающих допущений и составления дифференциальных уравнений звеньев 1, 2, 3/. При выводе уравнений звеньев за положительные направления движения элементов приняты такие, которые соответствуют действию регулятора при увеличении частоты вращения. Система дифференциальных уравнений звеньев изодромной САР записывается в следующем виде:

$$T_1 \frac{d \delta n}{dt} + \delta n = k_1 \delta G_T - k_2 \delta p_B^* \quad (1)$$

— двигатель как объект регулирования;

$$T_2 \frac{d \delta x}{dt} + \delta x = k_3 \delta n - k_4 \delta \alpha_{\text{руд}} \quad (2)$$

— центробежный чувствительный элемент;

$$\delta z = k_5 \delta x - k_6 \delta m_1 \quad (3)$$

— горизонтальный рычаг 6;

$$T_3 \frac{d \delta m_1}{dt} + \delta m_1 = T_3 \frac{d \delta m}{dt} \quad (4)$$

— катаракт 9 с пружиной 10;

$$T_4 \frac{d \delta m}{dt} = \delta z \quad (5)$$

— сервопоршень 8 с золотниковым распределителем 7;

$$\delta G_T = -k_7 \delta m \quad (6)$$

— дроссельная игла 11.

В уравнениях (1) ... (6) приняты обозначения:

$$\delta n = \frac{\Delta n}{n_0}; \quad \delta G_T = \frac{\Delta G_T}{(G_T)_0}; \quad \delta p_B^* = \frac{\Delta p_B^*}{(p_B^*)_0}; \quad \delta x = \frac{\Delta x}{x_0};$$

$$\delta m = \frac{\Delta m}{m_0}; \quad \delta z = \frac{\Delta z}{z_0}; \quad \delta m_1 = \frac{\Delta m_1}{(m_1)_0}; \quad \delta \alpha_{\text{руд}} = \frac{\Delta \alpha_{\text{руд}}}{(\alpha_{\text{руд}})_0}$$

— относительные приращения соответствующих параметров (см. рис. 1); индекс «О» означает принадлежность параметра к базовым величинам; $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ — соответствующие коэффициенты усиления звеньев; T_1, T_2, T_4 — постоянные времени двигателя, чувствительного элемента и сервопоршня с золотниковым распределителем;

$$T_3 = \frac{R_{\text{ж}} F_{\text{п}}^2}{C_{\text{пр}}} \text{ — постоянная времени катаракта 9 с пружиной 10;}$$

$R_{\text{ж}}$ — гидравлическое сопротивление жиклера, $F_{\text{п}}$ — площадь поршня катаракта; $C_{\text{пр}}$ — жесткость пружины 10.

Системы дифференциальных уравнений для астатической и статической САР получаются как предельные частные случаи системы уравнений для изодромной САР. При этом в уравнениях для астатической САР $T_3 = 0$ ($R_{\text{ж}} = 0, \delta m_1 = 0$), а для статической САР $T_3 = \infty$ ($R_{\text{ж}} = \infty, \delta m_1 = \delta m$).

Структурная схема и передаточные функции САР. При исследовании динамических свойств САР составляется ее структурная схема. Для этого система дифференциальных уравнений приводится к операторной форме:

$$\begin{aligned}
 (T_1 s + 1) \tilde{\delta n} &= k_1 \tilde{\delta G}_\tau - k_2 \tilde{\delta p}_\Pi^* ; \\
 (T_2 s + 1) \tilde{\delta x} &= k_3 \tilde{\delta n} - k_4 \tilde{\delta \alpha}_{\text{РВД}} ; \\
 \tilde{\delta z} &= k_5 \tilde{\delta x} - k_6 \tilde{\delta m}_1 ; \\
 (T_3 s + 1) \tilde{\delta m}_1 &= T_3 s \tilde{\delta m} ; \\
 T_4 s \tilde{\delta m} &= \tilde{\delta z} ; \\
 \tilde{\delta G}_\tau &= -k_7 \tilde{\delta m} .
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Волнистая черточка над параметрами в уравнениях (7) означает то, что они учитываются в изображениях по Лапласу, а s — оператор Лапласа ($s = \frac{d}{dt}$).

Структурная схема изодромной САР представляет собой соединение звеньев (рис. 2), передаточные функции которых получены

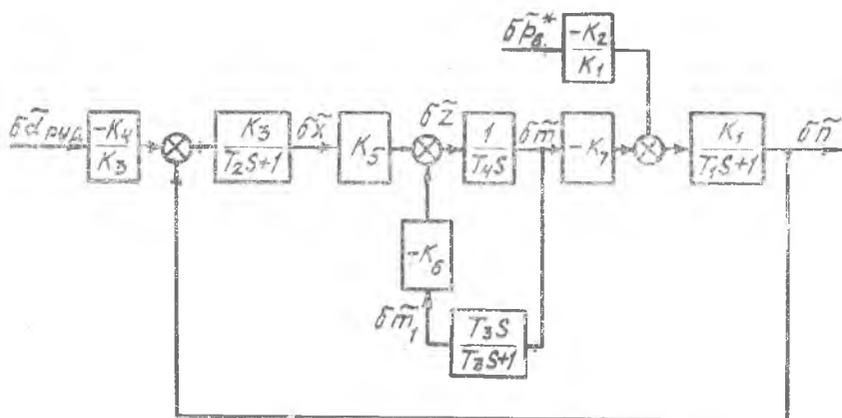


Рис. 2. Структурная схема изодромной САР

в соответствии с уравнениями (7). Структурные схемы астатической ($T_3 = 0$) и статической ($T_3 = \infty$) САР получаются как частные случаи структурной схемы изодромной САР.

Исследование динамических характеристик систем облегчается при использовании передаточных функций САР, которые представляют собой отношение изображения по Лапласу выходной величины к изображению по Лапласу входной величины при нулевых начальных условиях. Передаточные функции САР могут быть получены в результате преобразования структурной схемы (см. рис. 2)

или непосредственно из решения системы уравнений в операторной форме (7). Передаточная функция по управляющему воздействию

$W(s) = \delta n / \delta \alpha_{pуд}$ (при $\delta p_{в}^* = 0$) замкнутой изодромной САР определяется зависимостью

$$W(s) = \frac{b_0 s + b_1}{a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4}.$$

где $b_0 = k_4 k_5 k_7 T_3$; $b_1 = k_4 k_5 k_7$;

$$a_0 = T_1 T_2 T_3 T_4; \quad a_1 = T_1 T_2 (T_4 + k_6 T_3) + T_3 T_4 (T_1 + T_2);$$

$$a_2 = T_3 T_4 + (T_1 + T_2) (T_4 + k_6 T_3); \quad a_3 = T_4 + k_6 T_3 + k_1 k_3 k_5 k_7 T_3;$$

$$a_4 = k_1 k_3 k_5 k_7.$$

Передаточная функция изодромной САР по возмущающему воздействию $F(s) = \delta n / \delta p_{в}^*$ при $\delta \alpha_{pуд} = 0$, имеет вид

$$F(s) = \frac{c_0 s^3 + c_1 s^2 + c_2 s}{a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4},$$

где $c_0 = k_2 T_2 T_3 T_4$; $c_1 = k_2 [T_3 T_4 + T_2 (T_4 + k_6 T_3)]$; $c_2 = k_2 (T_4 + k_6 T_3)$.

Исследование устойчивости САР. При исследовании устойчивости САР рассматривается собственный оператор системы

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n,$$

входящий в знаменатели передаточных функций $W(s)$ и $F(s)$.

Для устойчивости САР необходимо и достаточно, чтобы вещественные части корней уравнения $D(s) = 0$ были отрицательны. Ввиду трудности поиска корней уравнения разработаны критерии устойчивости, которые по заданным коэффициентам $a_0 \dots a_n$ позволяют определить устойчивость САР. Например, для устойчивости САР по алгебраическому критерию устойчивости Рауса-Гурвица необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$ все диагональные миноры определителя, составленного по определенному правилу, были положительны. Для системы с уравнением третьего порядка ($n = 3$) условия устойчивости записываются в виде неравенств

$$\begin{aligned} a_0 > 0; & \quad \left| \begin{array}{cc} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{array} \right| = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Если хотя бы один из диагональных миноров отрицателен, то САР неустойчива, если равен нулю, то САР находится на границе устойчивости. Исследователей часто интересует область изменения какого-либо параметра, в которой САР устойчива. Выделить такую область устойчивости системы можно, воспользовавшись методом D -разбиения, а для несложных САР — неравенствами (8). Рассмотрим определение области устойчивости по коэффициенту уси-

ления исполнительного механизма k_7 астатической САР, для которой $T_3 = 0$ и собственный оператор имеет вид

$$D(s) = a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3,$$

где $a_0 = T_1 T_2 T_4$; $a_1 = T_4 (T_1 + T_2)$; $a_2 = T_4$; $a_3 = k_1 k_3 k_5 k_7$. Так как $a_0 > 0$ и $a_1 > 0$, то для устойчивости САР необходимо выполнение неравенства $a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$ или

$$T_4^2 (T_1 + T_2) - k_1 k_3 k_5 k_7 T_1 T_2 T_4 > 0.$$

Из этого неравенства следует, что система устойчива, если

$$k_7 < \frac{T_4 (T_1 + T_2)}{k_1 k_3 k_5 T_1 T_2}.$$

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САР

Исследование переходных характеристик изодромной САР проводится на аналоговой вычислительной машине (АВМ) МН-7 или АВК-31. Для решения задачи на АВМ необходимо:

составить на основе дифференциальных уравнений машинные уравнения изодромной САР (с числовыми значениями коэффициентов);

составить аналоговую модель изодромной САР;

набрать на АВМ модель изодромной САР;

задавая ступенчатым управляющим воздействием, зарегистрировать переходный процесс в устойчивой и неустойчивой астатической САР;

определить основные показатели качества переходного процесса в изодромной САР при ступенчатом возмущающем воздействии $\delta p_{в*} = 0,1 [1(t)]$ и различных значениях постоянной времени катаракта T_3 ;

проанализировать влияние различных факторов на статические и динамические свойства астатической, статической и изодромной САР.

Вывод машинных уравнений и составление аналоговой модели САР. Для составления аналоговой модели изодромной САР система уравнений (1)...(6) записывается в следующем виде:

$$\frac{d \delta n}{dt} = \frac{k_1}{T_1} \delta G_T - \frac{k_2}{T_1} \delta p_{в*} - \frac{1}{T_1} \delta n;$$

$$\frac{d \delta x}{dt} = \frac{k_3}{T_2} \delta n - \frac{k_4}{T_2} \delta \alpha_{руд} - \frac{1}{T_2} \delta x;$$

$$\delta z = k_5 \delta x - k_6 \delta m_1;$$

$$\frac{d \delta m_1}{dt} = \frac{d \delta m}{dt} - \frac{1}{T_3} \delta m_1;$$

$$\frac{d \delta m}{dt} = \frac{1}{T_4} \delta z;$$

$$\delta G_T = -k_7 \delta m.$$

Переход от уравнений (9) к машинным уравнениям осуществляется введением масштабных коэффициентов /4, 5/:

$$M_R = \frac{U_R}{R}, \quad (10)$$

где U_R — машинная переменная (напряжение) в АВМ, соответствующая физическому параметру R ; M_R — масштаб представления физического параметра R в напряжение АВМ. Масштаб M_R выбирается таким, чтобы во время переходного процесса напряжение U_R не превышало предельной для АВМ величины, например, для АВМ МН-7 $U_{\max} = 100$ В (для АВК-31 $U_{\max} = 10$ В)

$$M_R = \frac{100}{R_{\max}} \left[\frac{B}{\text{размерность } R} \right],$$

где R_{\max} — максимальное ожидаемое значение физического параметра.

Для удобства регистрации переходного процесса производится также масштабирование по времени:

$$\tau = M_t t, \quad (11)$$

где τ — машинное время; t — астрономическое (физическое) время; M_t — масштабный коэффициент по времени. Масштаб M_t выбирается таким образом, чтобы длительность переходного процесса на модели была в пределах (5...15) с.

После замены физических параметров на машинные в соответствии с равенствами (10), (11) уравнения (9) переписутся следующим образом

$$\begin{aligned} \frac{d U_n}{d \tau} &= \frac{k_1 M_n}{T_1 M_G M_t} U_G - \frac{k_2 M_n}{T_1 M_p M_t} U_p - \frac{1}{T_1 M_t} U_n; \\ \frac{d U_x}{d \tau} &= \frac{k_3 M_x}{T_2 M_n M_t} U_n - \frac{k_4 M_x}{T_2 M_a M_t} U_a - \frac{1}{T_2 M_t} U_x; \\ U_z &= \frac{k_5 M_z}{M_x} U_x - \frac{k_6 M_z}{M_{m1}} U_{m1}; \\ \frac{d U_{m1}}{d \tau} &= \frac{M_{m1}}{M_m} \frac{d U_m}{d \tau} - \frac{1}{T_3 M_t} U_{m1}; \\ \frac{d U_m}{d \tau} &= \frac{M_m}{T_4 M_z M_t} U_z; \\ U_G &= - \frac{k_7 M_G}{M_m} U_m. \end{aligned} \quad (12)$$

Учитывая, что время регулирования исследуемых САР составляет (3...10 с), а отклонение относительных параметров не превышает 0,2 (при заданных $\delta \alpha_{pуд} = 0,1$ или $\delta p_v^* = 0,1$), следует принять:

$M_t = 1$ и $M_R = \frac{100}{0,2} = 500$ В/ед. — для всех параметров. Тогда

после интегрирования уравнений (12) с учетом принятых масштабных коэффициентов машинные уравнения для набора на АВМ примут вид:

$$\begin{aligned} U_n &= \alpha_1 \int U_G d\tau - \alpha_2 \int U_p d\tau - \alpha_3 \int U_n d\tau; \\ U_x &= \alpha_4 \int U_n d\tau - \alpha_5 \int U_a d\tau - \alpha_6 \int U_x d\tau; \\ U_z &= \alpha_7 U_x - \alpha_8 U_{m1}; \\ U_{m1} &= \alpha_9 U_m - \alpha_{10} \int U_{m1} d\tau; \\ U_m &= \alpha_{11} \int U_z d\tau; \\ U_G &= -\alpha_{12} U_m, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\alpha_1 = \frac{k_1}{T_1}$; $\alpha_2 = \frac{k_2}{T_1}$; $\alpha_3 = \frac{1}{T_1}$; $\alpha_4 = \frac{k_3}{T_2}$; $\alpha_5 = \frac{k_4}{T_2}$;
 $\alpha_6 = \frac{1}{T_2}$; $\alpha_7 = k_5$; $\alpha_8 = k_6$; $\alpha_9 = 1$; $\alpha_{10} = \frac{1}{T_3}$; $\alpha_{11} = \frac{1}{T_4}$;

$\alpha_{12} = k_7$ — коэффициенты машинных уравнений. Определив машинные уравнения, можно приступить к составлению аналоговой модели.

При составлении аналоговой модели САР интегральные составляющие правой части уравнений (13) реализуются усилителями постоянного тока—интеграторами, а составляющие с постоянными множителями—простыми усилителями, на выходы которых подаются напряжения соответствующих параметров. Каждый усилитель имеет несколько входов, что позволяет производить суммирование входящих в него сигналов. Сигнал на выходе из усилителя имеет противоположный знак по отношению к входному сигналу. Это необходимо учитывать при составлении модели САР и стремиться к использованию наименьшего числа усилителей. Так, аналоговая модель изодромной САР, составленная по уравнениям (13), включает восемь усилителей (рис. 3). В модель, помимо коэффициентов α_i , входят дополнительные коэффициенты β_i , которые связаны с первыми соотношениями: $\beta_1 \beta_2 = \alpha_4$; $\beta_3 = \alpha_1 \alpha_{12}$. При наборе аналоговой модели следует принять $\beta_1 = 10$. Введение дополнительных коэффициентов β_i связано с тем, что $\alpha_4 > 10$. Кроме того, при этом появляется возможность исключить два усилителя. Исполнительный механизм (дрессельная игла) в модели реализован совместно с двигателем перемножением коэффициентов их усиления.

Набор аналоговой модели и работа на АВМ. Рассмотрим порядок набора аналоговой модели на АВМ МН-7, состоящей из трех блоков: блока питания ВЭС-1, решающего блока РБ и электронно-

лучевого индикатора И-5М. Модель набирается на горизонтальном коммутационном поле решающего блока. В соответствии со схемой набора входные сопротивления соединяются с входами усилителей. При этом имеется в виду, что коэффициенты усиления реализуются по формуле $\alpha = R_{oc} / R_{вх}$, где R_{oc} — сопротивление в цепи обратной связи усилителя; $R_{вх}$ — входное сопротивление. Перед каждым усилителем расположена группа из четырех входных сопротивлений (электрически с ним не связанных), причем два из них — постоянные 0,1 и 1 мОм, а два — переменные (0,1...1) мОм и (1...100) мОм. Таким образом можно реализовать дискретные коэффициенты усиления 0,1; 1; 10 и переменные в диапазонах 10...1 и 1...0,1 или 1...0,01 и 0,1...0,001. Наибольший коэффициент усиления усилителя равен 10. Если по схеме коэффициент больше 10, то последовательно включаются два усилителя, коэффициенты усиления которых перемножаются. После соединения входных сопротивлений со входами усилителей коммутируются выходы усилителей со входами сопротивлений в левой части наборного поля внутри очерченного прямоугольника. Выбранные номера усилителей и сопротивлений, которые могут не совпадать с номерами усилителей и сопротивлений в модели на рис. 3, записываются на схеме набора.

Для работы на АВМ необходимо выполнить последовательно следующие операции:

1. Включить тумблер на лицевой панели блока питания.
2. Включить тумблер «26» решающего блока.
3. Установить нули усилителей. Для этого после 10-минутного прогрева, машины соединить выход настраиваемого усилителя с вольтметром «+V₁», а клемму «-V₁» заземлить (не перепутать с клеммой «-100 В»). Вольтметр «V₁» имеет переключатель, расположенный слева от него на лицевой панели РБ. Проверить нуль усилителя в положении переключателя «100 В», «2; 5 В», «0,1 В». Установка нуля производится при помощи потенциометров, расположенных слева от лицевой панели. После установки нулей тумблер «Установка нуля» поставить в положение «Работа».

4. Установить коэффициенты усилителей. Для этого необходимо на клеммы соответствующих сопротивлений с надписью «Входы», расположенные внизу наборного поля, подать эталонное напряжение. Если коэффициент меньше 1, то следует подать напряжение 100 В, если больше 1 — то 10 В. Напряжение 10 В снимается с делителя (усилителя), на вход которого подается 100 В. Выход соответствующего усилителя соединяется с вольтметром «V₁» или «V₂». Гнезда вольтметров расположены внизу наборного поля. Если используется вольтметр «V₁», то клемму «-V₁» следует заземлить. Вольтметр «V₂» имеет переключатель полярности «+», «-» и переключатель шкалы «100», «10». Вращая отверткой на-

страиваемое сопротивление, можно установить требуемое значение коэффициента.

После задания коэффициентов установить тумблер «Подготовка» в положение «Работа».

Определение переходных характеристик САР. Вначале определяется переходная характеристика устойчивой и неустойчивой астатической САР. Для этого необходимо модель изодромной САР (см. рис.3) преобразовать в модель астатической САР разединением цепи обратной связи: вход сопротивления b отсоединяется от выхода усилителя 7. Устанавливается коэффициент усиления $k_7 (\beta_3)$, соответствующий области устойчивости САР. Задавая на входе в систему ступенчатое управляющее воздействие $U_a = 50 [1(t)] В$, соответствующее сигналу $\delta \alpha_{руд} = 0,1 [1(t)]$, регистрируется переходный процесс (рис. 4). Точно так же повторяется операция для неустойчивой астатической САР. Таким об-

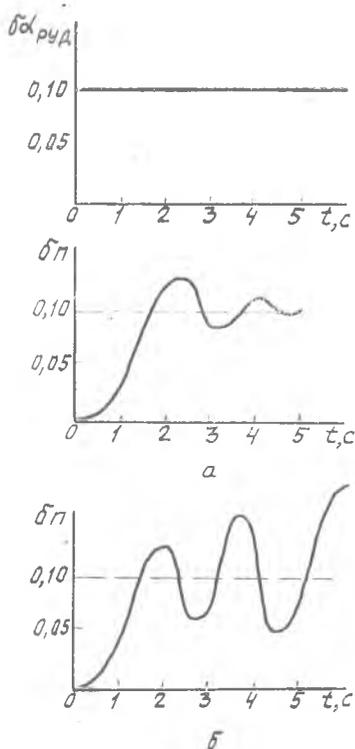


Рис. 4. Переходная характеристика устойчивой (а) и неустойчивой (б) астатической САР

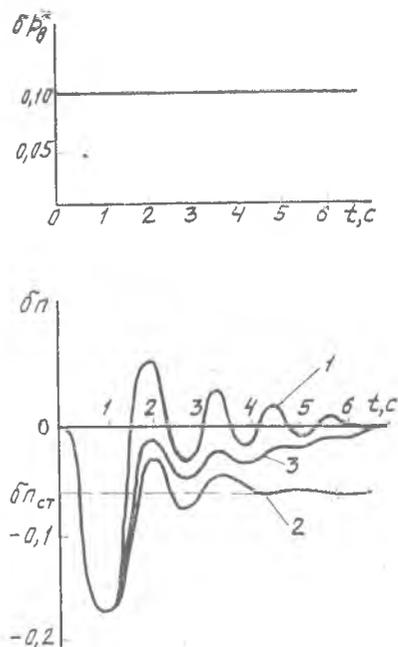


Рис. 5. Переходная характеристика изодромной САР: 1 — $T_3 = 0$; 2 — $T_3 = 0,5$ с; 3 — $T_3 = \infty$.

разом проверяется правильность теоретического определения области устойчивости САР по коэффициенту усиления k_7 .

Затем определяются основные показатели качества переходного процесса в изодромной САР при различных значениях постоянной времени T_3 изодромной обратной связи. Для этого в модели устанавливается коэффициент k_7 из области устойчивости, обычно $k_7 = (k_7)_{\text{гр}}/2$, где $(k_7)_{\text{гр}} = T_4(T_1 + T_2) / k_1 k_3 k_5 T_1 T_2$ — коэффициент, соответствующий границе устойчивости САР. Дискретно задается также ряд значений постоянной времени $T_3 = 0; 0,5 \text{ с}; \infty$. Величины $T_3 = 0$ и $T_3 = \infty$, соответствующие астатической и статической САР, реализуются размыканием входных сопротивлений 6 и 11. Задавая ступенчатое возмущающее воздействие $U_p = 50[1(t)] \text{ В}$, соответствующее $\delta p_{\text{в}}^* = 0,1 [1(t)]$, регистрируют переходную характеристику САР при каждом значении T_3 (рис. 5).

В результате обработки зарегистрированных переходных характеристик определяются основные показатели качества регулирования САР: τ_p — время регулирования; δn_{max} — максимальное отклонение регулируемого параметра; f — частота колебаний, N — число колебаний за время переходного процесса; $\delta n_{\text{ст}}$ — статическая ошибка регулирования.

По полученным результатам делаются выводы о влиянии структуры и параметров САР на статическую погрешность; о влиянии коэффициента усиления на устойчивость САР; о влиянии постоянной времени изодромной обратной связи T_3 на основные показатели качества регулирования.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать:

1. Принципиальную схему изодромной САР с обозначением регулируемого параметра, регулирующего фактора, управляющего и возмущающего воздействий, дифференциальные и машинные уравнения с числовыми значениями коэффициентов, структурную схему изодромной САР.

2. Экспериментальные переходные характеристики устойчивой и неустойчивой астатической САР.

3. Экспериментальные переходные характеристики изодромной САР при различных значениях постоянной времени изодромной обратной связи T_3 и основные показатели качества регулирования.

4. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите порядок выполнения лабораторной работы.

2. Нарисуйте схему и поясните принцип работы изодромной САР.

3. Как уменьшить статическую ошибку регулирования в статической САР? Каким конструктивным мероприятием это можно осуществить?

4. Назовите порядок исследования устойчивости САР. Определите устойчивость САР с собственным оператором

$$D(s) = 0,1s^3 + 0,2s^2 + s + 3.$$

5. Определите область устойчивости САР по коэффициенту усиления k , если задан собственный оператор: $D(s) = 0,1s^3 + 0,2s^2 + s + k$.

6. Нарисуйте качественно переходные характеристики астатической, статической и издромной САР частоты вращения двигателя при ступенчатом возмущающем воздействии $\delta p_{\text{в}}^*$.

7. Нарисуйте переходную характеристику издромной САР частоты вращения двигателя при ступенчатом управляющем воздействии и определите основные ее показатели.

8. Назовите порядок решения задачи на АВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гимадиев А. Г., Конев А. Г. Исследование переходных и частотных характеристик типовых звеньев САР: Методические указания. — Куйбышев: КуАИ, 1983. — 32 с.

2. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. — М.: Наука, 1978. — 432 с.

3. Черкасов Б. А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. — М.: Машиностроение, 1974. — 379 с.

4. Автоматика двигателей летательных аппаратов: Учебное пособие / Под редакцией Шорина В. П. — Куйбышев: КуАИ, 1978. — 68 с.

5. Урмаев А. С. Основы моделирования на АВМ. — М.: Наука, 1978. — 102 с.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САР

Группа	$T_1, \text{с}$	Вариант	Коэффициент	
			$T_2, \text{с}$	k_3
1	0,35	1	0,15	1,4
2	0,40	2	0,15	1,6
3	0,45	3	0,15	1,8
4	0,50	4	0,20	1,2
5	0,55	5	0,20	1,4

Постоянные коэффициенты $k_1 = 1$; $k_2 = 1$; $k_4 = 1$;
 $k_5 = 0,8$; $k_6 = 0,2$; $T_3 = 0,25 \text{ с}$; $T_4 = 0,2 \text{ с}$.

Составитель *Асгат Гатъятович Гимадиев*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК САР
ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НА АВМ

Редактор Т. К. Кретикина
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор И. С. Куприянова

Сдано в набор 23.09.85 г. Подписано в печать 12.11.85 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Литературная гарнитура. Печать высокая.
Усл. п. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,9. Т. 600 экз.
Заказ 752. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.