ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации авиационных
электросистем и пилотажно-навигационных комплексов

А.Г. Демченко

АВТОМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы

для студентов II и III курсов
направлений 25.03.02 и 25.05.05
всех форм обучения

Москва
ИД Академии Жуковского
2024

УДК 681.51
ББК 6Ф6.5
Д31

Рецензент:
Габец В.Н. – канд. техн. наук

Демченко А.Г.
Д31 Автоматика и управление [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы / А.Г. Демченко. – М.: ИД Академии Жуковского, 2024. – 16 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Автоматика и управление» по учебному плану для студентов II и III курсов всех форм обучения по направлению подготовки 25.03.02 специальности 25.05.05.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 30.01.2024 г. и методического совета 30.01.2024 г.

УДК 681.51
ББК 6Ф6.5

В авторской редакции

Подписано в печать 11.06.2024 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 1 Усл. печ. л. 0,93
Заказ № 1014/0410-УМП02 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (499) 755-55-43
E-mail: zakaz@itsbook.ru

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ И ЧАСТОТНЫХ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является исследование линейной системы автоматического управления (САУ) с помощью алгебраических и частотных критериев устойчивости на примере математической и имитационной моделей.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1.Устойчивость САУ. Математический подход к понятию определения устойчивости

В элементарном понимании устойчивость, это способность САУ возвращаться в состояние равновесия, после снятия внешних воздействий или внешних сил, которые вывели её из этого состояния.

Линейная одномерная САУ может быть представлена в виде структурной модели автоматики (рис. 1).

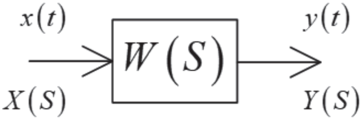


Рис. 1. Структурная модель автоматики линейной одномерной САУ

На рис. 1 показаны: $x(t)$ и $y(t)$ – соответственно значения входного и выходного сигналов САУ, определяемые во временной области; $X(S)$ и $Y(S)$ – соответственно значения входного и выходного сигналов САУ, определяемые в частотной области, где $X(S)=\int\limits_0^\infty x(t)\cdot e^{-St}dt$, $Y(S)=\int\limits_0^\infty y(t)\cdot e^{-St}dt$, $W(S)$ – передаточная функция линейной одномерной САУ,

$$W(S)=\frac{Y(S)}{X(S)}=\frac{b_0S^m+b_1S^{m-1}+b_2S^{m-2}+\ldots+b_{m-1}S+b_m}{a_0S^n+a_1S^{n-1}+a_2S^{n-2}+\ldots+a_{n-1}S+a_n}$$

С математической точки зрения, любая САУ может быть описана линейным неоднородным дифференциальным уравнением n-го порядка с постоянными коэффициентами:

$$a_0\frac{d^ny(t)}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}y(t)}{dt^{n-1}}+a_2\frac{d^{n-2}y(t)}{dt^{n-2}}+\ldots+a_{n-1}\frac{dy(t)}{dt}+a_ny(t)=$$

$$=b_0\frac{d^m x(t)}{dt^m}+b_1\frac{d^{m-1}x(t)}{dt^{m-1}}+b_2\frac{d^{m-2}x(t)}{dt^{m-2}}+\ldots+b_{m-1}\frac{dx(t)}{dt}+b_m x(t)$$

Решение дифференциального уравнения – это реакция САУ на конкретное управляющее или возмущающее воздействие, то есть это переходный процесс системы.

Общее решение дифференциального уравнения n-го порядка можно записать в виде:

$$y(t)=y_{своб}(t)+y_{вын}(t),$$

где $y_{своб}(t)$ – свободная составляющая, определяется общим решением однородного дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях; $y_{вын}(t)$ – вынужденная составляющая, определяется частным решением неоднородного дифференциального уравнения.

Характеристическое уравнение САУ, составленное по однородному дифференциальному уравнению:

$$a_0\lambda^n+a_1\lambda^{n-1}+a_2\lambda^{n-2}+\ldots+a_{n-1}\lambda+a_n=0$$

По теореме Безу характеристическое уравнение можно разложить на множители:

$$a_0\cdot(\lambda-\lambda_1)\cdot(\lambda-\lambda_2)\cdot(\lambda-\lambda_3)\cdot\ldots\cdot(\lambda-\lambda_{n-1})\cdot(\lambda-\lambda_n)=0,$$

$\lambda_1,\ \lambda_2,\ \lambda_3,\ldots,\ \lambda_{n-1},\ \lambda_n$ – корни характеристического уравнения.

Рассмотрим 2 случая возможных значений корней характеристического уравнения:

– все корни характеристического уравнения λ_i вещественные, тогда:

$$y_{своб}(t)=\sum_{i=1}^{n}C_i e^{\lambda_i t},\ (*)$$

где $C_i=const$

– характеристическое уравнение содержит пару комплексно-сопряжённых корней $\lambda_{n-1,n}=\alpha\pm j\beta$, а остальные корни λ_1-λ_{n-1} – вещественные, тогда:

$$y_{своб}(t)=\sum_{i=1}^{n-2}C_i e^{\lambda_i t}+e^{\alpha t}\cdot E\cdot\sin(\beta t+\varphi),\ (**)$$

где $C_i=const$, $\alpha=const$, $E=const$, $\beta=const$, $\varphi=const$

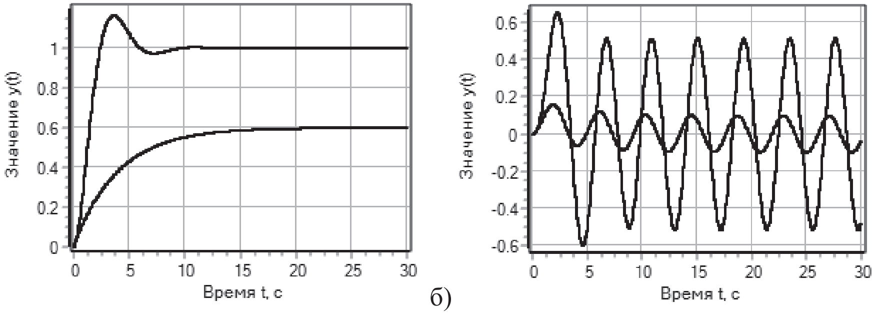
С математической точки зрения, под устойчивостью линейных САУ понимают свойства затухания $y_{своб}(t)$ с течением времени.

Для устойчивых САУ: $y_{своб}(\infty)=\lim\limits_{t\to\infty}y_{своб}(t)=0$,

то есть: $y_{своб}(t)\to 0\ при\ t\to\infty$

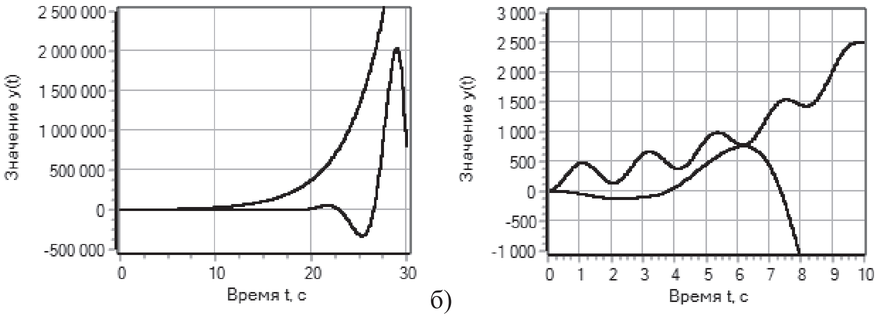
$$y(\infty)=\lim_{t\to\infty}\left(y_{своб}(t)+y_{вын}(t)\right)=\lim_{t\to\infty}\left(y_{вын}(t)\right)=y_{вын}(\infty)$$

Рассмотрим реакцию САУ при различных корнях λ_i характеристического уравнения. На рис. 2 показаны переходные процессы устойчивой САУ, а на рис. 3 показаны переходные процессы неустойчивой САУ в ответ на единичное ступенчатое входное воздействие $x(t)=1(t)$ и в ответ на гармоническое входное воздействие $x(t)=X_m \sin(\omega t+\varphi)$, где $X_m = const$, $\omega = const$, $\varphi = 0$.



а) б)

Рис. 2. Переходные процессы устойчивой САУ: а) – в ответ на единичное ступенчатое входное воздействие $x(t)=1(t)$; б) – в ответ на гармоническое входное воздействие $x(t)=X_m \sin(\omega t+\varphi)$



а) б)

Рис. 3. Переходные процессы неустойчивой САУ: а) – в ответ на единичное ступенчатое входное воздействие $x(t)=1(t)$; б) – в ответ на гармоническое входное воздействие $x(t)=X_m \sin(\omega t+\varphi)$

Из (*) и (**) видно, что выполнение условия устойчивости будет только тогда, когда все корни λ_i характеристического уравнения САУ, обладают отрицательными вещественными частями. Если хотя бы один корень характеристического уравнения вещественный положительный или имеется пара комплексно-сопряжённых корней с положительной вещественной частью, то переходный процесс будет расходиться и система будет неустойчивой. Если в характеристическом уравнении имеется хотя бы один нулевой корень $\lambda_i = 0$ или имеется пара чисто мнимых корней $\lambda_{i,\,i+1} = \pm j\omega$, а все остальные корни имеют отрицательные вещественные части, то переходный процесс будет представлять незатухающие колебания (автоколебания): в этом случае принято считать, что система находится на границе устойчивости.

Корни характеристического уравнения САУ можно наглядно отобразить на комплексной плоскости корней λ_i. На рис. 4 показана комплексная плоскость корней λ_i характеристического уравнения 10-го порядка.

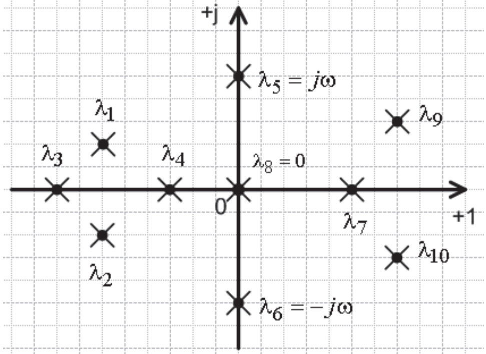


Рис. 4. Комплексная плоскость корней λ_i характеристического уравнения 10-го порядка

Сформулированные ранее свойства связи устойчивости САУ и значений корней характеристического уравнения были получены русским математиком Ляпуновым А. М.

Теорема I: Если вещественные части всех корней λ_i характеристического уравнения первого приближения отрицательны, то невозмущённое движение системы ($y_{своб}(t)$) асимптотически устойчиво, независимо от слагаемых разложения выше первого порядка малости.

Теорема II: Если среди корней λ_i характеристического уравнения первого приближения найдётся по крайней мере один с положительно вещественной частью, то не возмущённое движение системы ($y_{своб}(t)$) неустойчиво, независимо от слагаемых разложения выше первого порядка малости.

Теорема III: Если среди корней λ_i характеристического уравнения первого приближения найдётся по крайней мере один с нулевой вещественной частью, то этот случай называется критическим (система находится на границе устойчивости), и об устойчивости системы в этом случае по математическим моделям первого приближения судить нельзя. Требуются дополнительные исследования.

2.2. Взаимосвязь расположения корней характеристического уравнения САУ на комплексной плоскости с видом переходной характеристики САУ

Необходимым и достаточным условием устойчивости линейной САУ является отрицательность вещественных частей всех корней λ_i её характеристического уравнения.

Рассмотрим далее на примере характеристического уравнения 3-го порядка различные случаи расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости, а также покажем взаимосвязь расположение корней и вида переходной характеристики системы ($x(t)=1(t)$, $y(t)=h(t)$).

Характеристическое уравнение 3-го порядка имеет вид:

$D(\lambda)=a_0\lambda^3+a_1\lambda^2+a_2\lambda+a_3=0$

1. $\lambda_1<0, \lambda_2<0, \lambda_3<0$ (рис. 5).

В данном случае система будет устойчивой.

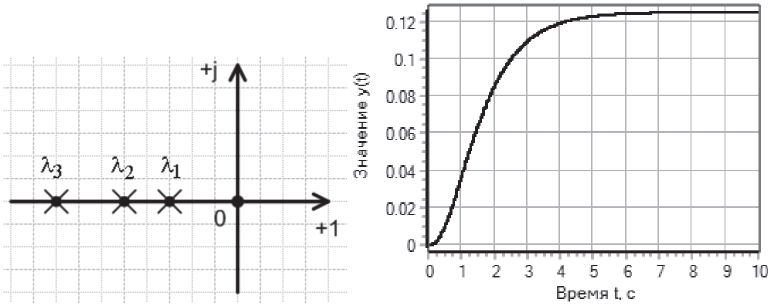


Рис. 5. Комплексная плоскость корней λ_i и $y(t)=h(t)$ для случая 1

2. $\lambda_{1,2}=\alpha\pm j\beta$, где $\alpha<0$ и $\lambda_3<0$ (рис. 6).

В данном случае система будет устойчивой.

Рис. 6. Комплексная плоскость корней λ_i и $y(t)=h(t)$ для случая 2

3. $\lambda_{1,2} = \pm j\beta$ и $\lambda_3 < 0$ (рис. 7).

В данном случае система будет находиться на границе устойчивости.

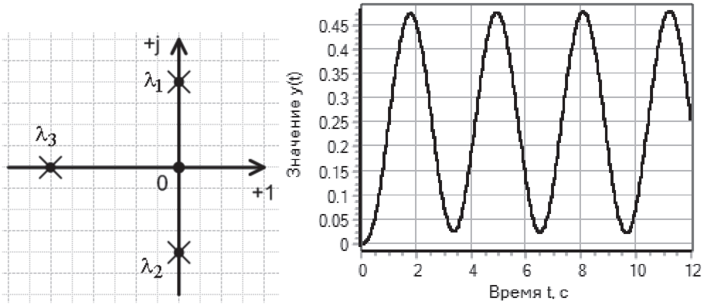


Рис. 7. Комплексная плоскость корней λ_i и $y(t) = h(t)$ для случая 3

4. $\lambda_{1,2} = \alpha \pm j\beta$, где $\alpha > 0$ и $\lambda_3 < 0$ (рис. 8).

В данном случае система будет неустойчивой.

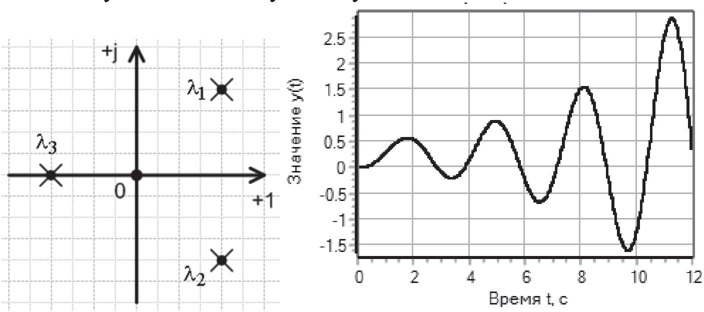


Рис. 8. Комплексная плоскость корней λ_i и $y(t) = h(t)$ для случая 4

5. $\lambda_{1,2} = \alpha \pm j\beta$, где $\alpha < 0$ и $\lambda_3 > 0$ (рис. 9).

В данном случае система будет неустойчивой.

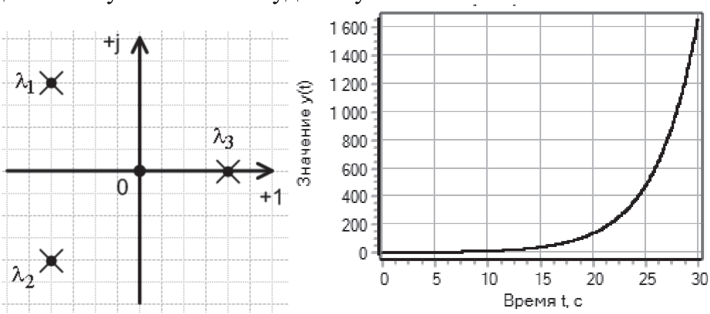


Рис. 9. Комплексная плоскость корней λ_i и $y(t) = h(t)$ для случая 5

Рассмотренные примеры показывают, что задача определения устойчивого или неустойчивого поведения САУ сводится к определению расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости или к определению значений корней.

Задача определения значений корней характеристического уравнения 4-го порядка и выше нетривиальна и сложна, поэтому были разработаны критерии устойчивости, которые позволяют судить об устойчивости системы без вычисления значений корней характеристического уравнения.

2.3. Критерии устойчивости линейных систем

Критериями устойчивости линейных систем называют правила, которые позволяют определить устойчивость систем без вычисления значений корней характеристического уравнения.

Математически все критерии устойчивости эквивалентны, то есть, они однозначно определяют условия устойчивости, то есть условия, при которых все корни характеристического уравнения лежат в левой полуплоскости комплексной плоскости корней. Выбор критерия определяется видом характеристического уравнения и задачей, которую требуется решить при анализе САУ.

Критерии устойчивости линейных САУ делятся на алгебраические и частотные.

2.4.Алгебраические критерии устойчивости САУ

2.4.1. Необходимое условие устойчивости САУ

Пусть известно характеристическое уравнение САУ n-го порядка с положительными коэффициентами:

$$D(\lambda) = a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} + \ldots + a_{n-1}\lambda + a_n = 0$$

Необходимым условием устойчивости системы является положительность всех коэффициентов её характеристического уравнения:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, ..., a_{n-1} > 0, a_n > 0$$

Данный алгебраический критерий устойчивости определяет необходимое, но не достаточное условие устойчивости линейной САУ. То есть такое условие, при не выполнении которого САУ не будет устойчивой. При выполнении данного условия, система может быть как устойчивой, так и неустойчивой. Для определения является ли САУ устойчивой необходимо применить достаточное условие, примером которого является критерий устойчивости Гурвица.

2.4.2. Критерий устойчивости Гурвица

Один из классических алгебраических критериев устойчивости был сформулирован и доказан немецким математиком Гурвицем А.

Пусть известно характеристическое уравнение САУ n-го порядка с положительными коэффициентами:

$$D(\lambda) = a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} + \ldots + a_{n-1}\lambda + a_n = 0,$$

где $a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, ..., a_{n-1} > 0, a_n > 0$

Тогда для того, чтобы тогда для того чтобы система была устойчивой достаточно чтобы все определители Гурвица были положительны:
$\Delta_n > 0$, $\Delta_{n-1} > 0$, $\Delta_{n-2} > 0, \ldots$, $\Delta_3 > 0$, $\Delta_2 > 0$, $\Delta_1 > 0$, где Δ_n, Δ_{n-1}, $\Delta_{n-2}, \ldots$, Δ_3, Δ_2, Δ_1 – определители Гурвица

Главный определитель Гурвица:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-2} & a_n \end{vmatrix}$$

Определители Гурвица Δ_{n-1} и Δ_{n-2}:

$$\Delta_{n-1} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-2} & a_n \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-3} & a_{n-1} \end{vmatrix}, \ \Delta_{n-2} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-3} & a_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{n-4} & a_{n-2} \end{vmatrix}$$

Определители Гурвица Δ_4, Δ_3, Δ_2 и Δ_1:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = a_1$$

Можно увидеть, что: $\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}$

Критерий устойчивости Гурвица однозначно определяет достаточное условие устойчивости линейной системы. То есть такое условие, выполнение которого будет достаточным для того, чтобы САУ была устойчивой.

2.5.Частотные критерии устойчивости САУ

По сравнению с алгебраическими критериями устойчивости, частотные критерии обладают большей наглядностью влияния параметров на устойчивость и качество САУ. Базируются частотные критерии устойчивости на теоретических основах функции комплексных переменных.

2.5.1. Критерий устойчивости Михайлова

Данный критерий позволяет судить об устойчивости САУ по поведению на комплексной плоскости годографа Михайлова.

Пусть известен характеристический полином САУ (знаменатель передаточной функции САУ) n-го порядка:

$$D(S) = a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + a_2 S^{n-2} + \ldots + a_{n-1} S + a_n$$

Полагая, что $S = j\omega$, получим:

$$D(j\omega) = a_0 \cdot (j\omega)^n + a_1 \cdot (j\omega)^{n-1} + a_2 \cdot (j\omega)^{n-2} + \ldots + a_{n-1} \cdot (j\omega) + a_n = \\ = X(\omega) + jY(\omega),$$

где:

$$X(\omega) = a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - a_{n-6}\omega^6 + a_{n-8}\omega^8 - a_{n-10}\omega^{10} + \ldots,$$

$$Y(\omega) = \omega \cdot \left(a_{n-1} - a_{n-3}\omega^2 + a_{n-5}\omega^4 - a_{n-7}\omega^6 + a_{n-9}\omega^8 - a_{n-11}\omega^{10} + \ldots\right),$$

$X(\omega)$ – вещественная функция годографа Михайлова,

$Y(\omega)$ – мнимая функция годографа Михайлова.

При изменении частоты ω от 0 до $+\infty$, вектор $D(j\omega)$ на комплексной плоскости будет описывать своим концом кривую, которую называют годографом Михайлова.

Для того, чтобы САУ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы вектор годографа Михайлова $D(j\omega)$, при изменении частоты ω от 0 до $+\infty$, повернулся вокруг начала координат против часовой стрелки (нигде не обращаясь в ноль) на угол $\frac{\pi n}{2}$, где n – порядок характеристического уравнения САУ.

Примеры годографов Михайлова для устойчивых САУ, характеристическое уравнение которых имеет порядки с 1-го по 6-ой (рис. 10).

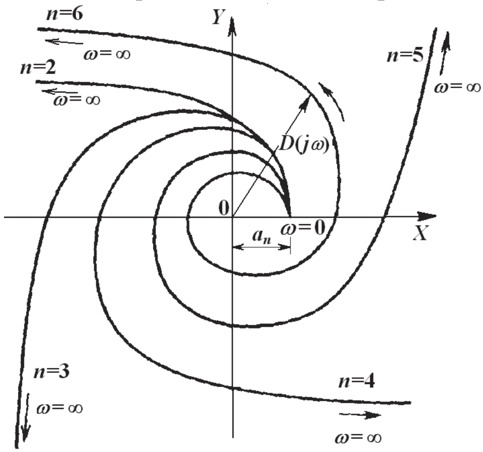


Рис. 10. Примеры годографов Михайлова для устойчивых САУ, характеристическое уравнение которых имеет порядки с 1-го по 6-ой

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На рис. 11 показана структурная модель замкнутой линейной САУ, построенной на основе замкнутой системы «самолёт-автопилот угла тангажа».

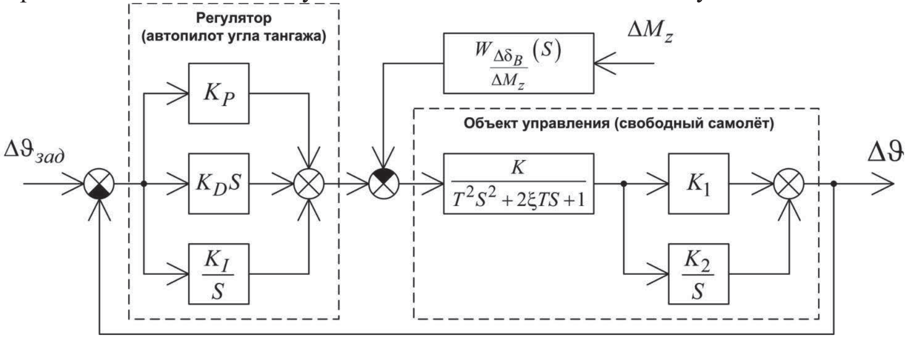


Рис. 11. Структурная модель замкнутой линейной САУ

Структурная модель замкнутой линейной САУ содержит звенья регулятора (автопилот угла тангажа), объекта управления (свободный самолёт) и сумматоры.

На рис. 11 показаны следующие сигналы: $\Delta\vartheta_{зад}$ – приращение заданного значении угла тангажа самолёта (входной сигнал САУ – входное управляющее воздействие), $\Delta\vartheta$ – приращение текущего значения угла тангажа самолёта (выходной сигнал САУ), ΔM_z – приращение внешнего возмущающего момента, действующего на самолёт относительно оси OZ (сигнал внешних возмущений – входное внешнее возмущение).

На рис. 12 показана имитационная модель линейной САУ (замкнутая система «самолёт-автопилот»), построенная на основе структурной модели (рис. 11), в среде имитационного моделирования SimInTech.

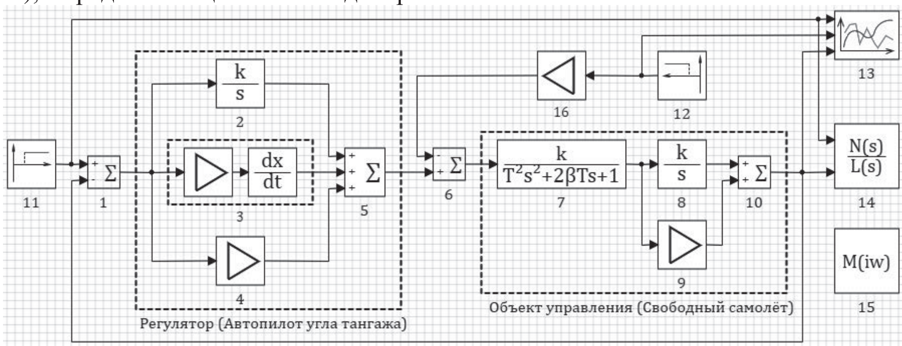


Рис. 12. Имитационная модель линейной САУ (замкнутая система «самолёт-автопилот»)

Имитационная модель линейной САУ (рис. 12) содержит следующие элементы: блоки задания значений управляющего воздействия и внешнего возмущения (11, 12), структуры регулятора (автопилот угла тангажа) и объекта управления (свободный самолёт), сумматоры (1, 6), блок передаточной функции по внешнему возмущению (16), блок построения переходных процессов (13), блок определения передаточной функции (14), блок построения годографа Михайлова (15).

Структура регулятора (автопилот угла тангажа) содержит следующие элементы: интегрирующее звено (2), дифференцирующее звено (3), пропорциональное звено (4) и сумматор (5).

Структура объекта управления (свободный самолёт) содержит следующие элементы: колебательное звено (7), интегрирующее звено (8), пропорциональное звено (9) и сумматор (10).

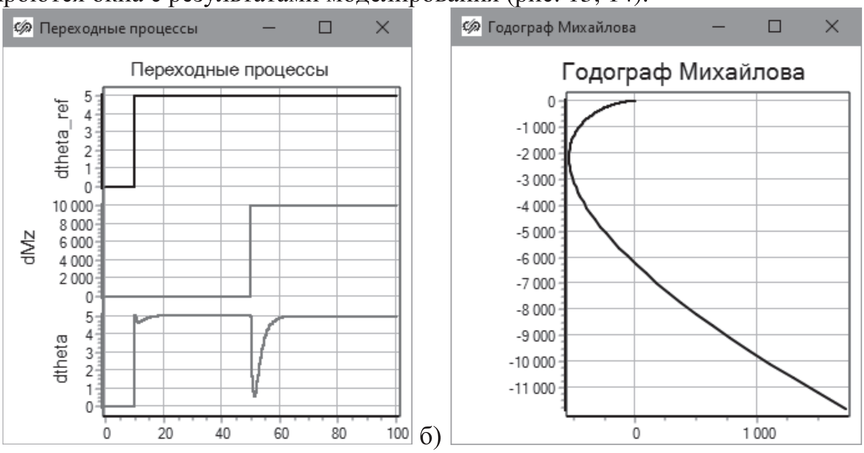
Чтобы начать работу со схемой нужно запустить Главное окно в программной среде SimInTech, а затем выполнить действия:

«Файл» => «Открыть» => «Устойчивость САУ».

Для установки времени моделирования необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши (ЛКМ) по кнопке  («Параметры расчёта») и установить требуемое время расчёта модели.

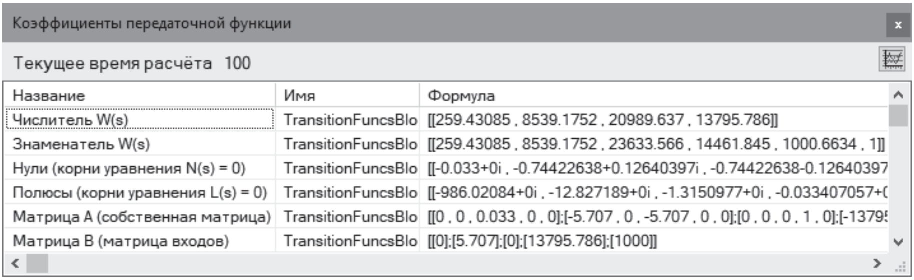
Для запуска моделирования необходимо дважды щелкнуть ЛКМ по кнопке  («Пуск»), при этом начнётся моделирование исправной работы линейной САУ. Когда моделирование завершится, в информационном окне SimInTech появится сообщение «Конечное время достигнуто».

Для регистрации результатов выполненного моделирования необходимо дважды щелкнуть ЛКМ по соответствующим блокам (13), (14), (15), при этом откроются окна с результатами моделирования (рис. 13, 14).



а) б)

Рис. 13. Результаты моделирования: а) – переходные процессы; б) – годограф Михайлова



Коэффициенты передаточной функции

Текущее время расчёта 100

Название	Имя	Формула
Числитель W(s)	TransitionFuncsBlo	[[259.43085 , 8539.1752 , 20989.637 , 13795.786]]
Знаменатель W(s)	TransitionFuncsBlo	[[259.43085 , 8539.1752 , 23633.566 , 14461.845 , 1000.6634 , 1]]
Нули (корни уравнения N(s) = 0)	TransitionFuncsBlo	[[-0.033+0i , -0.74422638+0.12640397i , -0.74422638-0.12640397
Полюсы (корни уравнения L(s) = 0)	TransitionFuncsBlo	[[-986.02084+0i , -12.827189+0i , -1.3150977+0i , -0.033407057+(
Матрица A (собственная матрица)	TransitionFuncsBlo	[[0 , 0 , 0.033 , 0 , 0];[-5.707 , 0 , -5.707 , 0 , 0];[0 , 0 , 0 , 1 , 0];[-1379!
Матрица B (матрица входов)	TransitionFuncsBlo	[[0];[5.707];[0];[13795.786];[1000]]

Рис. 14. Результаты расчёта передаточной функции замкнутой САУ

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1.Подготовка к выполнению лабораторной работы

Включить персональный компьютер с установленной средой имитационного моделирования SimInTech.

Дождаться загрузки операционной системы, а затем запустить программную среду SimInTech путём щелчка ЛКМ по ярлыку программы, расположенному на рабочем столе лабораторного персонального компьютера.

Открыть файл имитационной модели линейной САУ.

Установить время расчёта модели на значении 200 с.

4.2.Исследование устойчивости линейной САУ в исправном состоянии

Выполнить моделирование в соответствии с пунктом 3.

По завершении моделирования зафиксировать переходные процессы:

– переходный процесс по текущему значению приращения угла тангажа (линия красного цвета);

– переходный процесс по заданному значению приращения угла тангажа; (линия чёрного цвета);

– переходный процесс по сигналу внешних возмущений (линия синего цвета).

По завершении моделирования зафиксировать годограф Михайлова для замкнутой системы.

По завершении моделирования зафиксировать параметры передаточной функции по внешнему возмущению для замкнутой системы.

Проверить выполнение необходимого условия устойчивости САУ.

Проверить замкнутую систему на устойчивость с помощью критерия Гурвица.

Проверить замкнутую систему на устойчивость с помощью критерия Михайлова.

Проанализировать полученные в ходе исследования результаты.

4.3. Исследование устойчивости линейной САУ при отказе (обнуление коэффициента усиления пропорциональной составляющей (П- составляющая) регулятора)

Установить значение коэффициента усиления П- составляющей регулятора равное 0.

Выполнить далее исследование аналогично пункту 4.2.

Установить прежнее значение коэффициента усиления П- составляющей регулятора.

4.4.Исследование устойчивости линейной САУ при отказе (обнуление коэффициента усиления дифференцирующей составляющей (Д- составляющая) регулятора)

Установить значение коэффициента усиления Д- составляющей регулятора равное 0.

Выполнить далее исследование аналогично пункту 4.2.

Установить прежнее значение коэффициента усиления Д- составляющей регулятора.

4.5.Исследование устойчивости линейной САУ при отказе (обнуление коэффициента усиления интегрирующей составляющей (И- составляющая) регулятора)

Установить значение коэффициента усиления И- составляющей регулятора равное 0.

Выполнить далее исследование аналогично пункту 4.2.

Установить прежнее значение коэффициента усиления И- составляющей регулятора.

5. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОТЧЁТУ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

– название лабораторной работы;
– цель работы;
– краткие теоретические сведения;
– структурную схему исследуемой САУ;
– построенные переходные процессы, годограф Михайлова и параметры передаточной функции по внешнему возмущению для замкнутой системы для исследуемых режимов, расчёты по проверке выполнения необходимого условия устойчивости САУ, рассчитанные определители Гурвица для исследуемой САУ, расчёты по проверке выполнения условия устойчивости САУ по критерию устойчивости Михайлова (пункты 4.2-4.5);
– анализ полученных результатов, выводы.

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Каков характер переходных процессов и годографа Михайлова для замкнутой системы, соответствующих исправному состоянию линейной САУ?
2. Каково влияние отказа (обнуление коэффициента усиления пропорциональной составляющей (П- составляющая) регулятора) на устойчивость линейной САУ?
3. Каково влияние отказа (обнуление коэффициента усиления дифференцирующей составляющей (Д- составляющая) регулятора) на устойчивость линейной САУ?
4. Каково влияние отказа (обнуление коэффициента усиления интегрирующей составляющей (И- составляющая) регулятора) на устойчивость линейной САУ?
5. По заданию преподавателя исследуйте устойчивость системы с помощью теорем Ляпунова?
6. Докажите утверждение о необходимом условии устойчивости САУ?
7. По заданию преподавателя исследуйте устойчивость системы с помощью критерия Гурвица?
8. По заданию преподавателя исследуйте устойчивость системы с помощью критерия Михайлова?
9. По заданию преподавателя определите установившееся значение сигнала на структурной модели САУ?
10. По заданию преподавателя определите вещественную и мнимую функции Михайлова, соответствующие заданной структурной модели САУ?

Литература

1. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования, издательство «Машиностроение», 1985.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1972.

Содержание