

Шакиров Ильяс

студент

Ильков Владислав

студент

Научный руководитель

Фаизов Марат

аспирант, ассистент

ФГБОУ ВО Чистопольский филиал «Восток»

«Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

г. Казань, Республика Татарстан

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕГУЛЯТОРА

***Аннотация:** в статье представлены теоретические основы разработки и моделирования несложных систем автоматизации с учетом специфики технологических процессов. Авторами выполнено построение годографов по критерию Гурвица, Михайлова и Найквиста.*

***Ключевые слова:** годограф, критерий Гурвица, критерий Михайлова, критерий Найквиста, амплитудно-фазовая характеристика, полином.*

Статья имеет цель закрепить и систематизировать знания студентов, развить навыки в самостоятельной работе и научить их практически применять полученные ими теоретические знания при решении вопросов производственно-технического характера.

Целью статьи является освоение методик разработки и моделирования систем автоматического регулирования, построения графиков временных и частотных характеристик и исследования систем автоматического регулирования, а также приобретения навыков в пользовании технической литературой, справочниками, нормативными документами. Работа над статьей способствует систематизации, закреплению, углублению знаний, полученных студентами в хо-

де теоретического обучения, применению этих знаний для комплексного решения поставленных задач.

Предмет исследования (более конкретен и включает только те связи и отношения, которые подлежат непосредственному изучению в данном проекте, устанавливает границы научного поиска). В каждом объекте можно выделить несколько предметов исследования, но в работе должен быть указан один предмет исследования. Предметом исследования определяют конкретные свойства объекта, например для темы «Разработка системы автоматизации скважин ЭЦН, ШГН и АГЗУ на кусту скважин», предметом будет скважины ЭЦН, ШГН и АГЗУ.

Из предмета исследования вытекают его цель и задачи.

Цель исследования проекта разработка системы автоматизации на базе оптимально подходящих средств автоматизации. Моделирование устойчивой и качественной системы автоматического регулирования.

Первая задача связана с выявлением, уточнением, углублением, методологическим обоснованием сущности, природы, структуры изучаемого объекта.

Вторая – с анализом реального состояния предмета исследования, динамики, внутренних противоречий развития.

Третья и четвертая – со способами преобразования, моделирования, проверки либо с выявлением путей и средств повышения эффективности совершенствования исследуемого явления, процесса, т.е. с практическими аспектами работы, с проблемой управления исследуемым объектом. внешних соединений средств автоматизации, исследовать способы монтажа, ремонта, поверки средств автоматизации, определить экономическую эффективность.

Методы исследования включают использование конкретных теоретических и эмпирических методов исследования, например, анализ научно-методической литературы, документальных источников и др.

Устойчивость по критерию Гурвица.

По критерию Гурвица система устойчива, если при $a_0 > 0$ определители Гурвица положительны. Пусть характеристическое уравнение рассматриваемой системы

$$3,36p^4 + 10,14p^3 + 11,37p^2 + 5,57p + 2,17 = 0$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 10,14 & 5,57 & 0 & 0 \\ 3,36 & 11,37 & 2,17 & 0 \\ 0 & 10,14 & 5,57 & 0 \\ 0 & 3,36 & 11,37 & 2,17 \end{vmatrix}$$

Рассчитываем определители Гурвица

$$\Delta_1 = 10,14$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 10,14 & 5,57 \\ 3,36 & 11,37 \end{vmatrix} = 10,14 \times 11,37 - 3,36 \times 5,57 = 115,29 - 18,7 = 96,6$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 10,14 & 5,57 & 0 \\ 3,36 & 11,37 & 2,17 \\ 0 & 10,14 & 5,57 \end{vmatrix} = 10,14 \begin{vmatrix} 11,37 & 2,17 \\ 10,14 & 5,57 \end{vmatrix} - 5,57 \begin{vmatrix} 3,36 & 2,17 \\ 0 & 5,57 \end{vmatrix} + 0 =$$

$$= 10,14(11,37 \times 5,57 - 10,14 \times 2,17) - 5,57 \times 3,36 \times 5,57 = 419,06 - 104,21 = 314,85$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 10,14 & 5,57 & 0 & 0 \\ 3,36 & 11,37 & 2,17 & 0 \\ 0 & 10,14 & 5,57 & 0 \\ 0 & 3,36 & 11,37 & 2,17 \end{vmatrix} = 2,17 \times \Delta_3 = 2,17 \times 314,85 = 683,22$$

Устойчивость по критерию Михайлова.

Согласно критерию Михайлова, система устойчива, если годограф Михайлова проходит последовательно против часовой стрелки n -четвертей комплексной плоскости при изменении $\omega = 0 \div +\infty$. Пусть характеристическое уравнение системы:

$$3,36p^4 + 10,14p^3 + 11,37p^2 + 5,57p + 2,17 = 0$$

Полином Михайлова:

$$F(j\omega) = 3,36(j\omega)^4 + 10,14(j\omega)^3 + 11,37(j\omega)^2 + 5,57j\omega + 2,176 =$$

$$= 3,36\omega^4 - 10,14j\omega^3 - 11,37\omega^2 + 5,57j\omega + 2,176 = (3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 2,176) +$$

$$+ j(-10,14\omega^3 + 5,57\omega)$$

Задаваясь значениями $\omega = 0 \div + \infty$ строим годограф Михайлова.

Расчет необходимо выполнить программным путем. Например, с использованием EXCEL. Составляем программу для данного примера.

$$B2=3,36*B1^4-11,37*B1^2+2,176$$

$$B3=-10,14*B1^3+5,57*B1$$

Таблица 1

Результаты расчета

W	0	0,01	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1
Re	2,176	2,17486	2,06264	1,17992	-0,4565	-2,5886	-4,8292	-5,834
Im	0	0,05569	0,54686	1,39722	1,5175	0,42098	-2,3791	-4,57

Годограф необходимо построить с использованием программной среды.

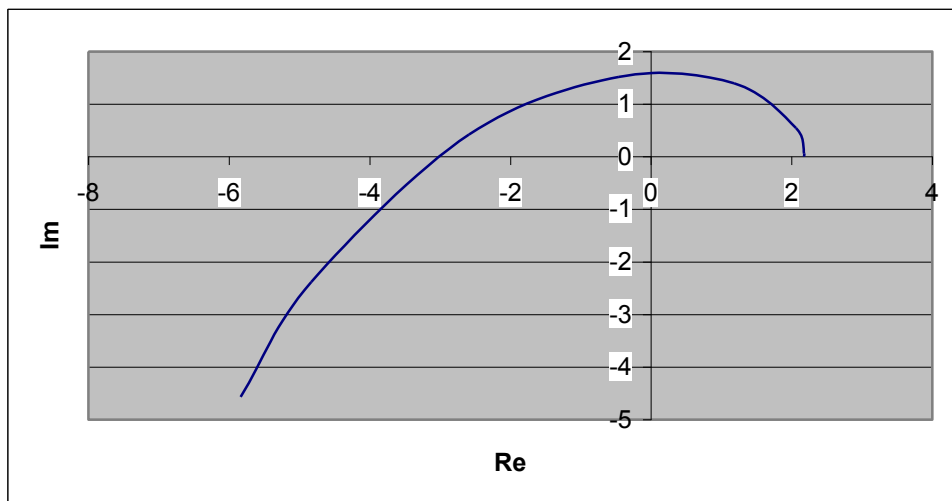


Рис. 1. Годограф Михайлова

Устойчивость по критерию Найквиста.

Для того чтобы система была устойчива в замкнутом виде необходимо и достаточно чтобы годограф АФХ устойчивой разомкнутой системы не охватывал точку на комплексной плоскости с координатами

$(-1;0)$ при изменении $\omega=0 \div +0$. Разомкнутая система считается устойчивой, если состоит из устойчивых типовых звеньев.

Пусть передаточная функция разомкнутой системы.

$$W_{pf}(p) = \frac{1,176}{3,36p^4 + 10,14p^3 + 11,37p^2 + 5,57p + 1}$$

Определяем АФХ:

$$\begin{aligned} W(j\omega)_{\text{раз}} &= \frac{1,176}{3,36(j\omega)^4 + 10,14(j\omega)^3 + 11,37(j\omega)^2 + 5,57j\omega + 1} = \\ &= \frac{1,176}{3,36\omega^4 - 10,14j\omega^3 - 11,37\omega^2 + 5,57j\omega + 1} = \\ &= \frac{1,176((3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 1) - j(-10,14\omega^3 + 5,57\omega))}{(3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 1) + j(-10,14\omega^3 + 5,57\omega) \times} \\ &\quad \times (3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 1) - j(-10,14\omega^3 + 5,57\omega)} = \\ &= \frac{1,176(3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 1)}{(3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 1)^2 + (-10,14\omega^3 + 5,57\omega)^2} - \\ &\quad - j \frac{1,176(-10,14\omega^3 + 5,57\omega)}{(3,36\omega^4 - 11,37\omega^2 + 1)^2 + (-10,14\omega^3 + 5,57\omega)^2} \end{aligned}$$

Задавая значениями $\omega = 0 \div +\infty$ строим АФХ разомкнутой системы с использованием Excel:

$$B_2 = \frac{1,176 * (3,36 * B10^4 - 11,37 * B10^2 + 1)}{(3,36 * B10^4 - 11,37 * B10^2 + 1)^2 + (-10,14 * B10^3 + 5,57 * B10^1)^2}$$

$$B_2 = \frac{1,176 * (-10,14 * B17^3 + 5,57 * B17^1)}{(3,36 * B17^4 - 11,37 * B17^2 + 1)^2 + (-10,14 * B17^3 + 5,57 * B17^1)^2}$$

Таблица 2

Результаты расчёта

W	0	0,01	0,1	0,3	0,5	0,7	1
Re	1,176	1,17369	0,96084	0,002359	-0,38645	-0,30853	-0,11773
Im	0	0,065437	0,592628	0,841665	0,359225	0,034502	-0,07675

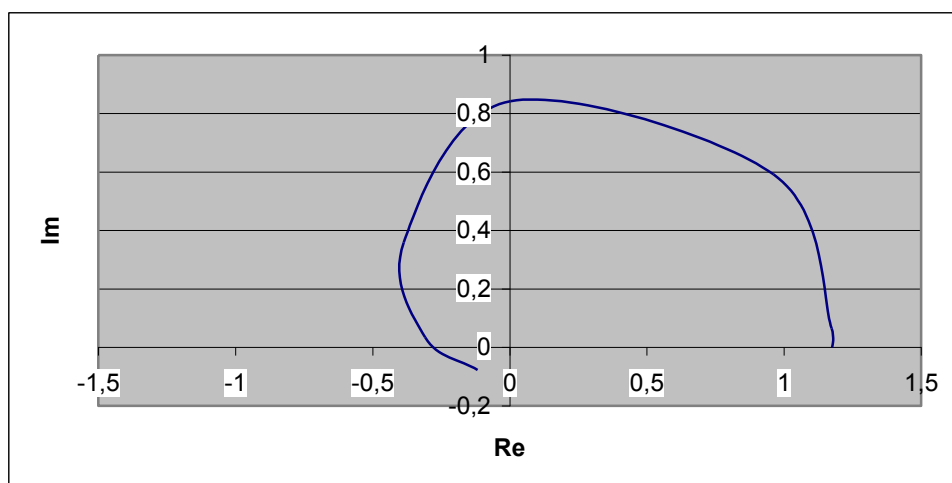


Рис. 2. Годограф АФХ

Заключение.

В процессе расчёта устойчивости с использованием критериев Гурвица, Михайлова и Найквиста было выявлен фактор устойчивости всех 3-х систем.

Были построены годографы и рассчитаны амплитудно-фазовые характеристики для достижения цели.

Список литературы

1. Гальперин М.В. Автоматическое управление / М.В. Гальперин. – М.: Инфра-М, 2010. – 224 с.
2. Слевцов Л.И. Автоматизация технологических процессов / Л.И. Слевцов, А.Л. Слевцов. – М.: Академия, 2011. – 352 с.
3. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2012. – 352 с.
4. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУ ТП: проектирование и разработка / Ю.Н. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.
5. Калиниченко А.В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике / А.В. Калиниченко. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 576 с.
6. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: справочное пособие/ А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.А. Ключев [и др.]; под ред. А.С. Ключева. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 368 с.

7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/249/73249>
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/029/66029>
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opac.mpei.ru/auteurs/view/27712/source:default>
10. Тен М.Б. Курсовой проект по МДК 4.1 Теоретические основы разработки и моделирования несложных систем автоматизации с учетом специфики технологических процессов / М.Б. Тен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infourok.ru/kursovoy-proekt-po-mdk-teoreticheskie-osnovi-razrabotki-i-modelirovaniya-neslozhnih-sistem-avtomatizacii-s-uchetom-specifiki-teh-1534278.html> (дата обращения: 24.01.2023).