

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



**Кафедра автоматики и автоматизации
производственных процессов**

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания
к лабораторной работе
для студентов, обучающихся
по направлению 220200 (550200),
специальности 220301 (210200)
всех форм обучения

Санкт-Петербург 2006

УДК 621.078(052)

Лазарев В.Л., Кириков А.Ю. Теория автоматического управления: Метод. указания к лабораторной работе для студентов, обучающихся по направлению 220200 (550200), специальности 220301 (210200) всех форм обучения. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 28 с.

Рассматриваются теоретические и практические аспекты исследования автоколебаний в нелинейных системах. Помимо рассмотрения теоретических методов определения параметров автоколебаний дается описание лабораторного стенда для проведения соответствующих экспериментальных исследований и методика их проведения для различных вариантов заданий.

Рецензент
Доктор техн. наук, проф. А.Н. Носков

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторную работу по исследованию автоколебаний в нелинейных системах студенты выполняют в процессе изучения дисциплины “Теория автоматического управления”.

Режим автоколебаний в ряде случаев является основным рабочим режимом нелинейных систем. К такому классу систем чаще всего относятся системы, содержащие в цепи обратной связи (регуляторе) различные позиционные звенья, которые характеризуются простой реализацией на аппаратном уровне, высокой надежностью в работе и невысокой стоимостью. В первую очередь к ним относятся двух- и трехпозиционные датчики (реле температуры, давления, уровня, расхода и др.) различных типов и модификаций, которые широко используются в промышленности для организации автоматического регулирования.

Кроме этого, для подобных же целей различными производителями в большом количестве и ассортименте выпускаются разнообразные позиционные регуляторы, как в виде отдельных блоков, так и встроенные во вторичные измерительные приборы, а также позиционные исполнительные устройства. Отличительной особенностью всех таких звеньев является то, что они характеризуются однозначной нечетной характеристикой (например, двух- и трехпозиционные реле как идеальные, так и имеющие зоны нечувствительности, звенья с “насыщением” и с зоной нечувствительности и др.)

Режим автоколебаний достаточно объективно характеризуется двумя параметрами: амплитудой (A) и частотой автоколебаний (ω_a). Величина A определяет точность процесса регулирования параметра: чем она больше, тем ниже точность и наоборот. Частота автоколебаний характеризует интенсивность переключений, срабатываний исполнительного устройства, что в конечном счете сказывается на показателях надежности системы. Из этих соображений при прочих равных условиях в процессе синтеза системы или при ее настройке величину ω_a стараются минимизировать. Кроме того, знание параметров автоколебаний в ряде случаев позволяет определить условия устойчивости системы. Поэтому очень важно, чтобы студенты овладели навыками исследования режимов автоколебаний для решения практических задач анализа и синтеза нелинейных систем автоматического регулирования (САР).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

В настоящее время существуют различные методы исследования автоколебаний в нелинейных системах [1]. Одним из наиболее общих методов является *метод исследования фазовых портретов*. Несмотря на значительную трудоемкость, связанную с его практической реализацией (составление и преобразование системы исходных уравнений, построение фазовых траекторий) метод получил распространение в инженерной практике. Привитию практических навыков по реализации этого метода для решения задач исследования динамики нелинейных систем посвящена отдельная лабораторная работа [2].

Для исследования автоколебаний в нелинейных системах разработан специальный метод – *метод гармонической линеаризации* (другое название, которое встречается в технической литературе – *метод гармонического баланса*), который широко распространен на практике. Этот метод позволяет определить параметры возможных автоколебаний в нелинейной системе.

Суть метода кратко состоит в следующем. Используя правила структурных преобразований, структуру исходной нелинейной системы приводим к виду, изображенному на рис. 1.

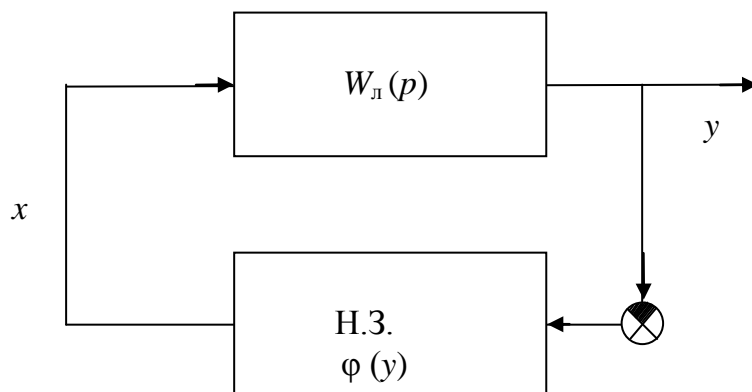


Рис. 1. Структурная схема преобразованной нелинейной системы:
 $W_{л}(p)$ – передаточная функция линейной части системы; Н.З. – нелинейное звено, находящееся в цепи обратной связи, характеристика которого имеет вид $x = \varphi(y)$

В состав линейной части системы входят все линейные звенья. Например, если в системе используется какой-либо датчик-реле, то его измерительный блок, являющийся инерционным линейным звеном (например термобаллон манометрического термометра датчика-реле температуры и др.) представляется отдельным звеном с передаточной функцией $W_1(p)$, которая входит в состав линейной части системы, а сам релейный элемент, с помощью которого осуществляется тот или иной вариант позиционного регулирования, является указанным нелинейным безынерционным звеном (Н.З.).

Метод гармонической линеаризации основан на предположении, что линейная часть системы является фильтром нижней гармоники, частота которой (ω_a) определяет частоту автоколебаний. Условие фильтрации подразумевает, что более высокие гармоники с частотами $2\omega_a$; $3\omega_a$ и т.д. не пройдут на вход нелинейного звена. Для проверки условия фильтрации необходимо определить частоту ω_a , которая находится в результате применения метода гармонической линеаризации. Отсюда следует, что применимость этого метода определяется в конце решения задачи на основании проверки. Если условия фильтрации нижней гармоники линейной частью системы не выполняются, то это еще не означает окончательно, что в системе не могут существовать автоколебания. В этом случае возможности метода оказываются ограниченными и для проведения соответствующих исследований необходимо использовать какой-либо другой метод (например, метод исследования фазовых портретов).

Исходя из сделанных выше предположений исходное звено заменяют эквивалентным, по балансу первой гармоники, линейным звеном. Передаточная функция такого звена, для случая симметричной нечетной характеристики нелинейного звена $\varphi(y)$ будет иметь вид

$$W(p) = k_{\Gamma} + \frac{k'_{\Gamma}}{\omega_a} p, \quad (1)$$

где k_{Γ} , k'_{Γ} – коэффициенты гармонической линеаризации, которые определяются из выражений

$$\kappa_{\Gamma} = \frac{\frac{1}{\pi} \int \varphi(y) \sin \omega_a t d(\omega_a t)}{A}; \quad (2)$$

где t – текущее время; $d(\omega_a t)$ – дифференциал от $\omega_a t$,

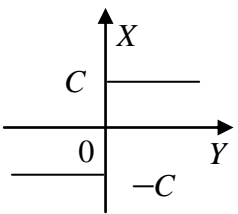
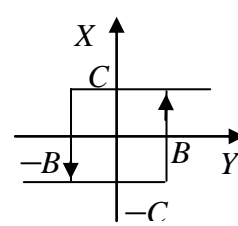
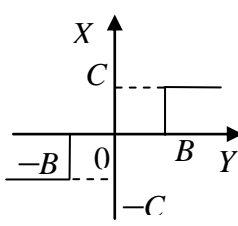
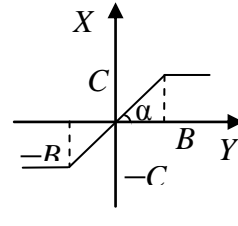
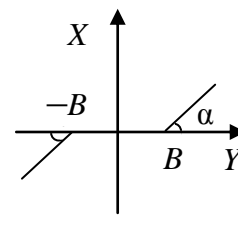
$$\kappa'_{\Gamma} = \frac{\frac{1}{\pi} \int \varphi(y) \cos \omega_a t d(\omega_a t)}{A}; \quad (3)$$

$$y = A \sin \omega_a t. \quad (4)$$

Как следует из выражений (2) – (4), коэффициенты гармонической линейаризации определяются видом функции $\varphi(y)$ и значениями величин A и ω_a . Для типовых нелинейных звеньев на основании зависимостей (2) и (3) получены готовые выражения для этих коэффициентов, часть из которых, необходимая для выполнения данной лабораторной работы, приведена в табл. 1. Очевидно, что при таком подходе эта система будет являться линейной только для фиксированных значений A и ω_a . В противном случае система остается нелинейной, так как коэффициенты гармонической линейаризации, как это следует из (2) и (3), нелинейно зависят от параметров автоколебаний.

После определения коэффициентов гармонической линейаризации для заданного нелинейного звена дальнейшие действия по исследованию автоколебаний в системе будут основываться на следующих соображениях. Существование в нелинейной системе режима автоколебаний соответствует нахождению линейаризованной системы на колебательной границе устойчивости. Отсюда искомые значения величин A и ω_a могут быть найдены с помощью известных критериев устойчивости линейных систем (Михайлова, Найквиста, Рауса – Гурвица) из условия нахождения системы на грани устойчивости. Поэтому решение поставленной задачи может быть осуществлено одним из методов определения границы устойчивости линейных систем.

**Коэффициенты гармонической линеаризации типовых
нелинейных звеньев**

№ пп	Статическая характеристика	Название звена и уравнение	Выражения для коэф- фициентов гармонической линеаризации	
			κ_{Γ}	κ'_{Γ}
1		Идеальное двухпозиционное реле $X = \begin{cases} C & \text{при } Y > 0 \\ -C & \text{при } Y < 0 \end{cases}$	$\frac{4C}{\pi A}$	0
2		Двухпозиционное реле с зоной нечувствительности $X = \begin{cases} C & \text{при } Y > B \\ -C & \text{при } Y < -B \end{cases} Y > 0$ $X = \begin{cases} C & \text{при } Y > -B \\ -C & \text{при } Y < -B \end{cases} Y < 0$	$\frac{4C}{\pi A} \sqrt{1 - \frac{B^2}{A^2}}$ при $A \geq B$	$\frac{4CB}{\pi A^2}$ при $A \geq B$
3		Идеальное трехпозицион- ное реле $X = \begin{cases} C & \text{при } Y > B \\ 0 & \text{при } Y \leq B \\ -C & \text{при } Y < -B \end{cases}$	$\frac{4C}{\pi A} \sqrt{1 - \frac{B^2}{A^2}}$ при $A \geq B$	0
4		Усилитель с насыщением $X = \begin{cases} KY & \text{при } Y \leq B \\ C & \text{при } Y > B \\ -C & \text{при } Y < -B \end{cases}$ $K = \operatorname{tg} \alpha$	$\frac{2K}{\pi} \left(\operatorname{arcsin} \frac{B}{A} + \frac{B}{A} \sqrt{1 - \frac{B^2}{A^2}} \right)$ при $A \geq B$	0
5		Усилитель с зоной нечувствительности $X = \begin{cases} K(Y - B) & \text{при } Y > B \\ 0 & \text{при } Y \leq B \\ K(Y + B) & \text{при } Y < -B \end{cases}$ $K = \operatorname{tg} \alpha$	$K - \frac{2K}{\pi} \left(\operatorname{arcsin} \frac{B}{A} + \frac{B}{A} \sqrt{1 - \frac{B^2}{A^2}} \right)$ при $A \geq B$	0

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОКОЛЕБАНИЙ

1. Определение параметров автоколебаний с использованием критерия Рауса – Гурвица

Критерий основан на рассмотрении характеристического полинома $D_3(p)$ замкнутой системы, передаточная функция которой представлена в виде

$$W_3(p) = \frac{W_3(p)}{1 + W_3(p)W_{нз}(p)} = \frac{Q_3(p)}{D_3(p)}, \quad (5)$$

где $W_3(p)$ – передаточная функция замкнутой системы; $W_{нз}(p)$ – линейная передаточная функция нелинейного звена; $W_{л}(p)$ – передаточная функция линейной части системы; $Q_3(p)$ – полином числителя передаточной функции замкнутой системы.

Условие нахождения системы на колебательной границе устойчивости будет иметь вид

$$\Delta_{n-1} = 0, \quad (6)$$

где Δ_{n-1} – предпоследний минор определителя Рауса – Гурвица, составленный из коэффициентов полинома $D_3(p)$.

Из условия (6) определяют искомые параметры A и ω_a .

2. Определение параметров автоколебаний с помощью критерия Найквиста

Условие нахождения системы на границе устойчивости имеет вид

$$W(j\omega) = W_3(j\omega) W_{нд}(j\omega) = -1, \quad (7)$$

где $W(j\omega)$ – частотная передаточная функция разомкнутой системы. Так как $W(j\omega)$ в показательной форме $W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ условие (7) можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} A(\omega) = 1; \\ \varphi(\omega) = -\pi, \end{cases} \quad (8)$$

где $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) разомкнутой системы; $\varphi(\omega)$ – фазо-частотная характеристика (ФЧХ) этой системы.

При переходе к логарифмическим частотным характеристикам (ЛАХ) условие (8) примет вид

$$\begin{cases} L(\omega)=0; \\ \varphi(\omega)=-\pi. \end{cases} \quad (9)$$

Искомые параметры автоколебаний находят из условий (7 – 9). Если аналитическое решение этих уравнений является затруднительным, то их решение осуществляют методами последовательных приближений или графическими методами. На практике применяются следующие графические методы. Для решения уравнения (7) в комплексной плоскости строятся годограф АФЧХ линейной части системы $W(j\omega)$ и годограф $-\frac{1}{W_{\text{нп}}(j\omega)}$. Тогда искомые значения A и ω_a определяются как параметры координат точки пересечения этих годографов (метод Гольдфарба). В качестве альтернативы можно определять параметры координат точки пересечения годографов $\frac{1}{W_{\text{л}}(j\omega)}$ и $-W_{\text{н}}(j\omega)$ (метод Коченбургера). Графическое решение уравнений (8) и (9) осуществляется непосредственно с использованием соответствующих характеристик (ЛАХ; АЧХ; ФЧХ).

3. Определение параметров автоколебаний с помощью критерия Михайлова

Условие нахождения системы на границе устойчивости в этом случае имеет вид

$$D_3(j\omega) = 0, \quad (10)$$

где $D_3(j\omega)$ – частотная функция полинома $D_3(p)$, получаемая из выражения $D_3(p)|_{p \Rightarrow j\omega} \Rightarrow D_3(j\omega)$; $D_3(p)$ – характеристический полином замкнутой системы, получаемый из выражения (5).

Выразим $D_3(j\omega)$ через вещественную $U_3(\omega)$ и мнимую $V_3(\omega)$ составляющие:

$$D_3(j\omega) = U_3(j\omega) + jV_3(j\omega).$$

Тогда условие (10) приведет к виду

$$\begin{cases} U_3(j\omega)=0; \\ V_3(j\omega)=0. \end{cases} \quad (11)$$

Искомые параметры автоколебаний A и ω_a определяют из условий (10) или (11).

Выбор того или иного способа нахождения параметров автоколебаний зависит от структуры системы, вида передаточных функций, трудоемкости его реализации в каждом конкретном случае и др. При выполнении лабораторной работы конкретный критерий для решения такой задачи задается преподавателем.

После нахождения параметров автоколебаний необходимо провести исследование устойчивости такого режима одним из известных методов. В ряде случаев это может быть сделано непосредственно исходя из физических соображений.

В заключение необходимо осуществить проверку отправной гипотезы о том, что линейная часть системы является фильтром найденной гармоники с частотой ω_a . Для этого строится АЧХ линейной части системы, на которой указывается положение ω_a . Затем делается вывод относительно степени пропускания основной гармоники с частотой ω_a и других более высоких гармоник с частотами $2\omega_a$, $3\omega_a$ и т. д.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Цель работы

Целью данной работы является привитие студентам навыков определения параметров автоколебаний при решении практических задач анализа и синтеза нелинейных САР. При выполнении работы студентам представляется возможность ознакомления и исследования автоколебательного процесса на конкретном объекте с использованием специального стенда.

Описание стенда

Лабораторный стенд предназначен для исследования автоколебательных процессов в системе автоматического регулирования температуры в термокамере. В состав стенда входят следующие приборы и технические средства автоматизации:

1. Двухканальный измеритель-регулятор 2ТРМ1.
2. Термоэлектронагреватели – ТЭН1, ТЭН2.
3. Вентилятор.
4. Первичные преобразователи температуры (датчики), подключенные к 2ТРМ1 – ТСМ1, ТСМ2.
5. Блок ручных переключателей – БРП.
6. Датчик канала регистрации температуры – ТСМ3.
7. Регистратор-измеритель температуры – КСМ4.

На рис. 2 представлена структурная схема системы автоматического регулирования температуры в термокамере, а на рис. 3 – внешний вид установки и расположение основных элементов системы на стенде.

Данный состав приборов и технических средств автоматизации позволяет создавать и исследовать различные варианты нагрева воздуха в термокамере с помощью переключателей блока БРП. Положение и функциональное назначение этих переключателей приведено в табл. 2. Полный перечень вариантов приведен в табл. 3.

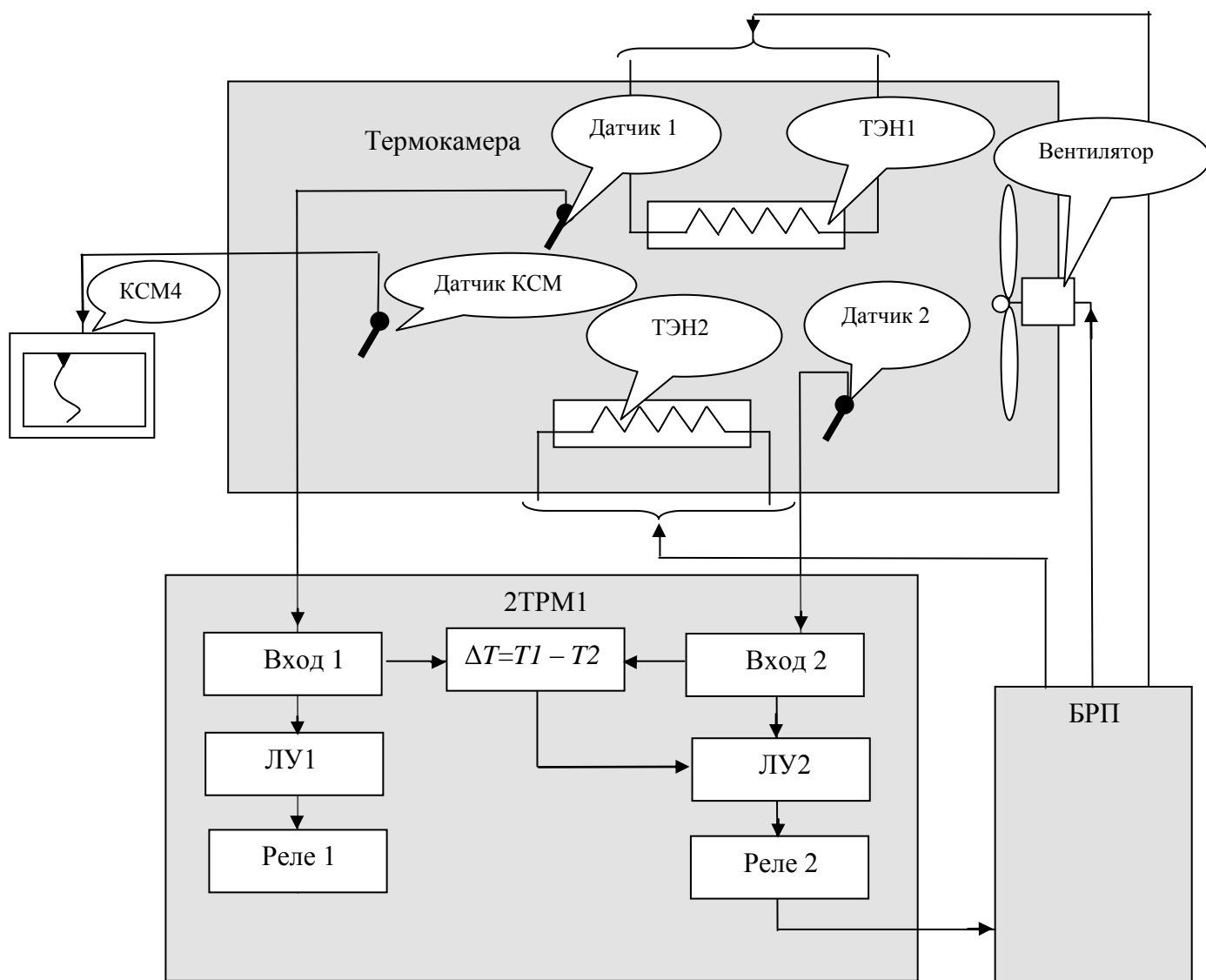


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования температуры в термокамере

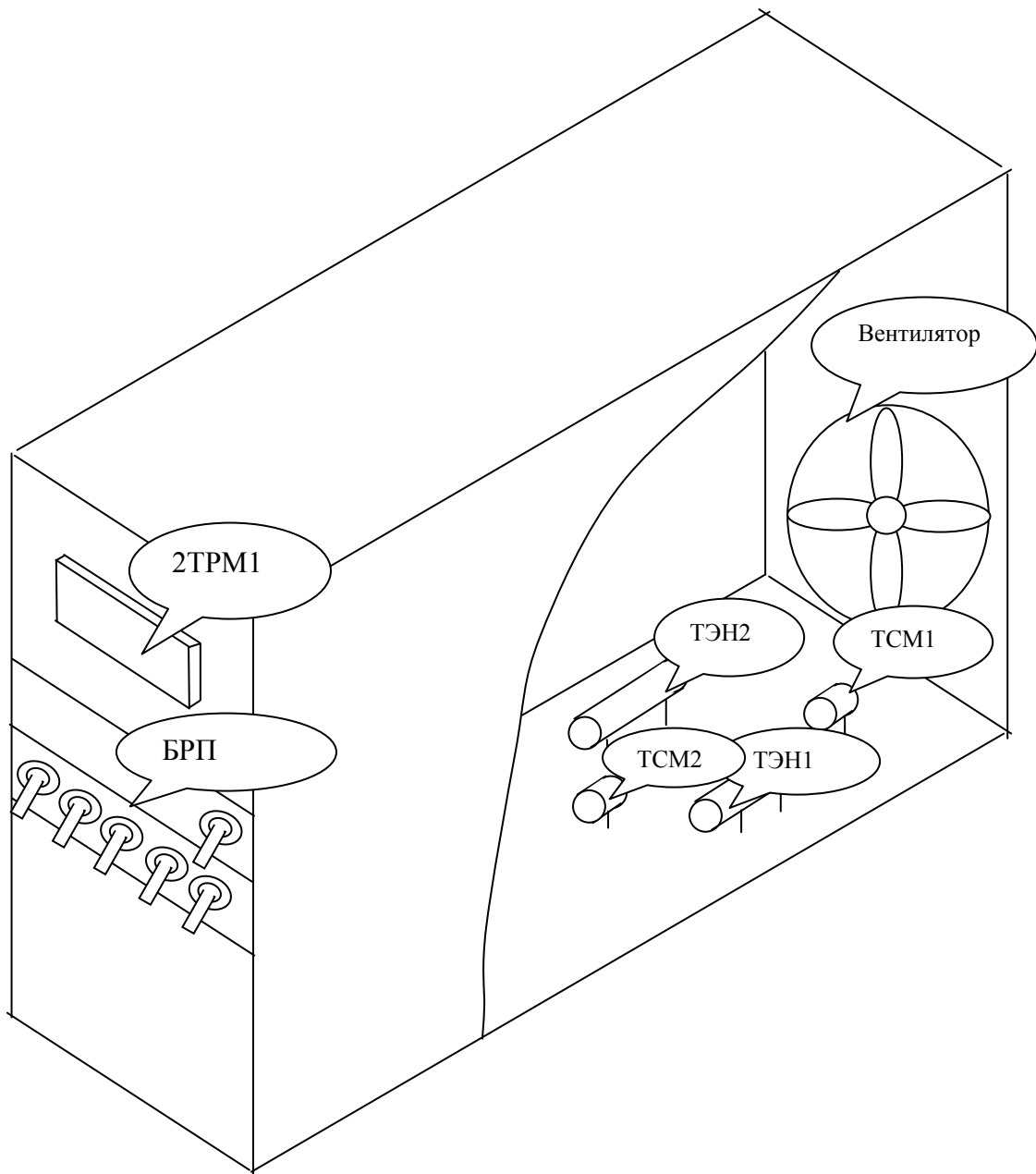


Рис. 3. Внешний стенда установки и расположение основных блоков

Таблица 2

**Положение и функциональное назначение
переключателей блока БРП**

№ переключателя	Положение	Функция	Элемент подключения	Примечание
1	Верхнее Нижнее	Вкл. Выкл.	ТЭН1	–
2	Верхнее Нижнее	Вкл. Выкл.	ТЭН2	–
3	Верхнее Нижнее	Вкл. Выкл.	Последовательное соединение ТЭН1 и ТЭН2	–
4	Верхнее Нижнее	Вкл. Выкл.	Вентилятор	–
5	Верхнее Нижнее	Вкл. Выкл.	Только вентилятор Только ТЭНы	Изменение канала управ- ления в системе
6	Верхнее Нижнее	Вкл. Выкл.	Вентилятор	Только при нижнем поло- жении перекл. № 5

Подготовка стенда к работе

1. Включить стенд в сеть.
2. Убедиться в выполнении п.1 по высвечиванию индикаторов на лицевой панели прибора 2ТРМ1.
3. Переключая тумблеры согласно табл. 3 убедиться в функционировании элементов системы.
4. Проверить параметры настройки прибора 2ТРМ1 согласно прил. 1.
5. Включить регистратор температуры и убедиться в совпадении показаний регистратора и прибора 2ТРМ1.
6. Включить диаграмму регистратора и осуществить набор выданного варианта задания задачи при помощи переключателей блока БРП.

Таблица 3

Варианты подключения приборов и технических средств автоматизации для исследования процессов регулирования температуры в термокамере

№ варианта	№ переключателя						№ датчика
	1	2	3	4	5	6	TSM
1	+	-	-	-	/+	-	1
2	-	+	-	-	/+	-	1
3	+	+	-	-	/+	-	1
4	-	-	+	-	/+	-	1
5	+	-	-	+	/+	-	1
6	-	+	-	+	/+	-	1
7	+	+	-	+	/+	-	1
8	-	-	+	+	/+	-	1
9	+	-	-	-	+/-	-	1
10	-	+	-	-	+/-	-	1
11	+	+	-	-	+/-	-	1
12	-	-	+	-	+/-	-	1
13	+	-	-	-	/+	+	1
14	-	+	-	-	/+	+	1
15	+	+	-	-	/+	+	1
16	-	-	+	-	/+	+	1
17 – 32							2

Примечание. В табл. 3 применены следующие условные обозначения: + – переключатель в положении Вкл.; - переключатель в положении Выкл.; +/- – верхнее положение переключателя; /+ – нижнее положение переключателя; варианты 9 – 12 требуют перепрограммирования 2ТРМ1 с нагревателя на охладитель; варианты 17 – 32 повторяют варианты 1 – 16 с перепрограммированием работы 2ТРМ1 на работу с датчиком TSM 2.

Методика проведения экспериментальных исследований режимов автоколебаний

1. Получить у преподавателя параметры задания: T – значение уставки температуры, Δ – ширины зоны нелинейности (гистерезис) и № варианта по табл. 3. Включить стенд и установить режим работы в соответствии с заданием.

2. Снять экспериментально переходную характеристику объекта регулирования (термокамеры).

3. Определить параметры передаточной функции для заданного варианта объекта по экспериментальной переходной характеристике: K_0 , T_0 , τ_3 .

4. Используя метод гармонической линеаризации, определить параметры автоколебаний в системе – A и ω_a .

5. Настроить регулятор на заданные параметры – T и Δ .

6. Снять кривую процесса регулирования.

7. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Примечание. Пример переходной характеристики (п. 2) и кривая процесса регулирования (п. 5), а также способ определения параметров объекта управления – K , T_0 , τ_3 приведены на рис. 5.

Содержание отчета

1. Вариант задания (схема элементов САР).

2. Результаты решения задачи по определению параметров автоколебаний с использованием метода гармонической линеаризации

3. Результаты экспериментального исследования режимов автоколебаний в системе для выданного варианта задания.

4. Сравнение расчетного и экспериментального решений с выводами.

5. Заключение по работе.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ-РЕГУЛЯТОРА 2ТРМ1

Измеритель-регулятор 2ТРМ1 предназначен для измерения и регулирования температуры в холодильной технике, сушильных шкафах, печах, пастеризаторах и другом технологическом оборудовании. Данный прибор обладает следующими возможностями:

- два входа для измерения температуры;
- два независимых канала регулирования температуры;
- одноканальное трехпозиционное регулирование температуры;
- вычисление разности двух измеряемых температур и управление объектом по этому параметру;
- программирование алгоритма управления;
- сохранение заданных параметров;
- защита параметров от несанкционированного доступа.

Функциональная схема измерителя-регулятора приведена на рис. 4.

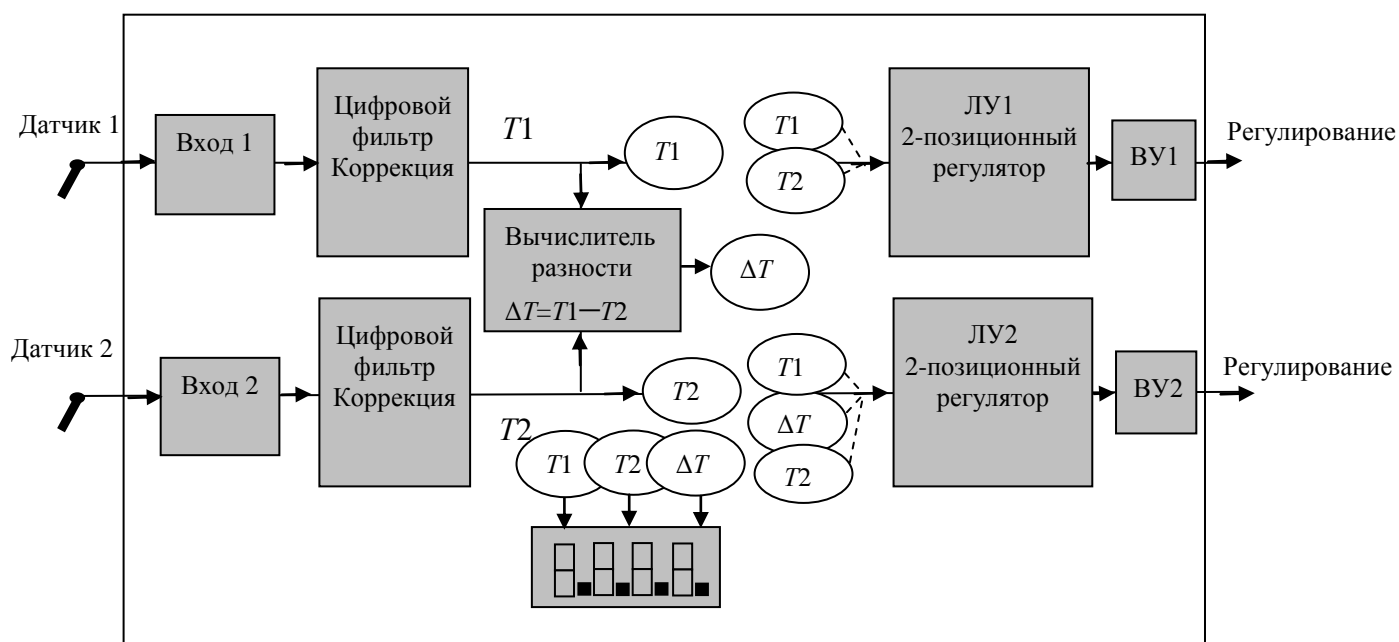


Рис. 4. Функциональная схема измерителя-регулятора 2ТРМ1

Прибор имеет два входа для подключения первичных преобразователей (датчиков), блок обработки данных, состоящий из измерителей физических величин и разности между ними, цифрового фильтра и двух логических устройств (ЛУ1 и ЛУ2). Логические устройства в соответствии с запрограммированными пользователем функциональными параметрами формируют сигналы управления выходными устройствами. За каждым из ЛУ закреплено собственное выходное устройство, которое в зависимости от модификации прибора может быть дискретного или аналогового типа. ЛУ работают независимо друг от друга. При работе ЛУ в режиме устройства сравнения для управления работой нагревателя (ТЭНа) применяется тип логики 1 – прямой гистерезис. При этом выходное устройство, подключенное к ЛУ, первоначально включается при значениях $T_{\text{тек}} < T_{\text{уст}} - \Delta$, выключается при $T_{\text{тек}} > T_{\text{уст}} + \Delta$, и вновь включается при $T_{\text{тек}} < T_{\text{уст}} - \Delta$, осуществляя тем самым двухпозиционное регулирование с гистерезисом Δ . График изменения температуры в объекте при работе ЛУ с уставкой $T_{\text{уст}}$ и гистерезисом Δ изображен на рис. 5.

На лицевой панели прибора расположены клавиатура управления прибором, цифровой индикатор и светодиоды, на задней панели – силовая и измерительные части, а также выходной разъем. Четырехразрядный цифровой индикатор предназначен для отображения значений измеряемых величин и функциональных параметров прибора. Семь светодиодов красного свечения сигнализируют о различных режимах работы:

- светодиоды К1 и К2 сигнализируют о включении соответствующего выходного устройства;

- светодиоды Т и Δ засвечиваются при программировании и сигнализируют о том, что какой параметр выбран для установки: Т – значение уставки, Δ – значение гистерезиса;

- светодиоды I, II и ΔT сигнализируют о выводе на индикацию соответствующего канала измерения (непрерывная засветка) и об аварии по входу (мигающая засветка).

Кнопка ПРОГ. предназначена для входа в режим просмотра и установки рабочих параметров, а также для записи новых установленных значений в энергонезависимую память прибора.

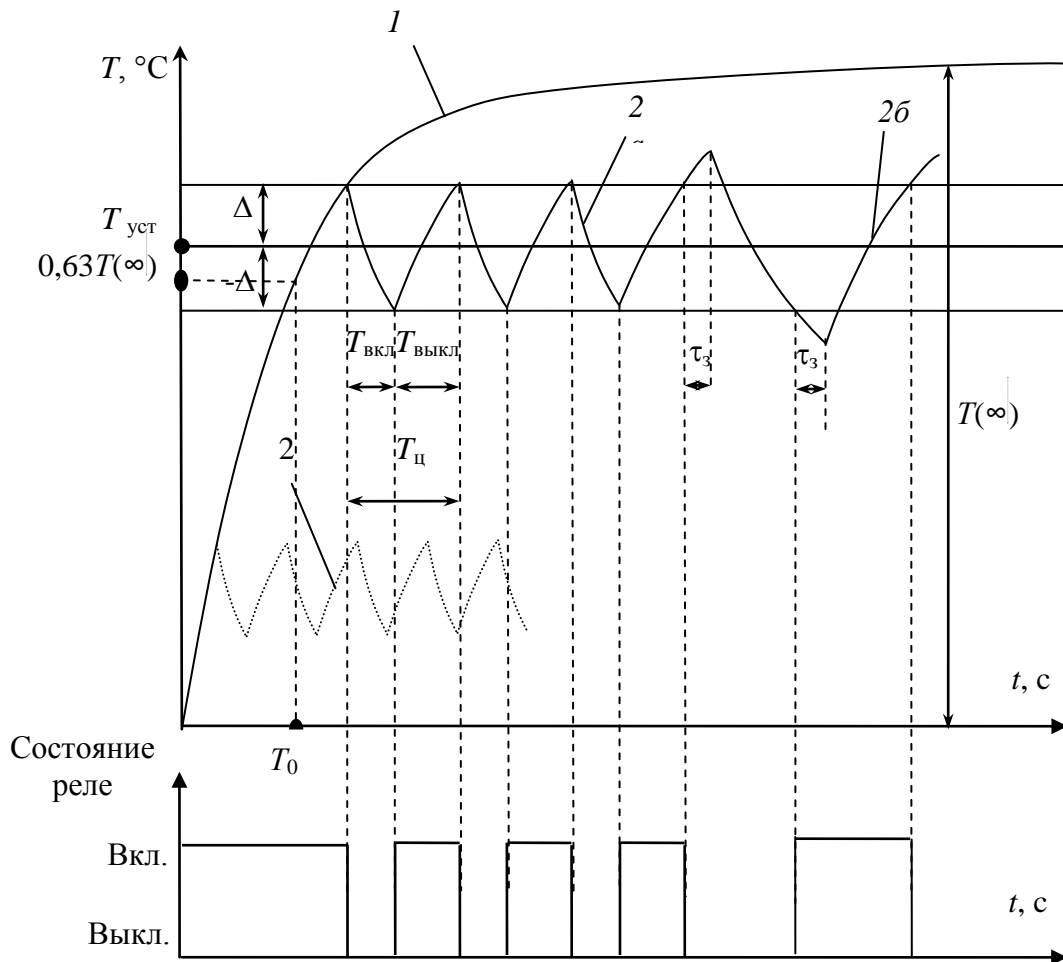


Рис. 5. Переходная характеристика объекта регулирования (1) и динамические характеристики процесса двухпозиционного регулирования (2, 2а – без запаздывания, 2б – с запаздыванием)

Кнопка Δ предназначена для просмотра заданного значения уставки ЛУ, связанного с выводимым в данный момент на индикацию каналом измерения, а также при установке параметров для выбора и увеличения значения параметра. Кнопка ∇ предназначена для смены канала (T1,T2, или ΔT), выводимого на индикацию, а также при установке параметров для выбора и уменьшения значения параметра. При удержании кнопок скорость изменения возрастает.

При эксплуатации прибора его функционирование осуществляется в одном из режимов: РАБОТА или УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ.

Режим РАБОТА является основным эксплуатационным режимом, в который прибор автоматически входит при включении питания. В данном режиме 2ТРМ1 производит опрос входных датчиков, вычисляя по полученным данным текущие значения измеряемых величин, отображает их на цифровом индикаторе и выдает соответствующие сигналы на выходные устройства.

В режиме РАБОТА прибор управляет внешними исполнительными устройствами в соответствии с заданными режимами работы ЛУ. Визуальный контроль за работой выходного дискретного устройства может осуществляться оператором по светодиодам К1 и К2, расположенным на передней панели прибора. Засветка светодиода сигнализирует о переводе соответствующего логического устройства и связанного с ним выхода в состояние ВКЛЮЧЕНО, а погасание – в состояние ВЫКЛЮЧЕНО.

В режиме РАБОТА возможен просмотр заданного значения уставки для индицируемого канала, что осуществляется нажатием и удержанием кнопки Δ .

Режим УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ предназначен для задания и записи в энергонезависимую память прибора требуемых при эксплуатации рабочих параметров измерения и регулирования (табл. 4). Заданные значения параметров сохраняются в памяти прибора при выключении питания. При входе в режим программирования выходные устройства переводятся в состояние, определенное в параметре $v_0 - 5$. Если в течение 20 с в режиме УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ не производится операции с кнопками, прибор автоматически возвращается в режим РАБОТА.

В приборе установлено два уровня программирования. На первом уровне осуществляется просмотр и изменение значений параметров регулирования: уставки T и гистерезиса Δ для каждого ЛУ. Вход на первый уровень программирования осуществляется кратковременным (около 1с) нажатием на кнопку ПРОГ. с дальнейшим занесением параметров регулирования в память прибора.

На втором уровне программирования осуществляется просмотр и необходимое изменение функциональных параметров прибо-

ра. Функциональные параметры прибора разделены на группы А и в. В группе А находятся параметры, определяющие логику работы прибора, в группе в – параметры, отвечающие за настройку измерительной части прибора. Переход на второй уровень программирования осуществляется нажатием и удерживанием кнопки ПРОГ. более 6с с дальнейшим занесением параметров регулирования в память прибора.

Таблица 4

Программируемые параметры прибора 2ТРМ1

Параметр	Допустимые значения	Комментарии	Заводская уставка
Группа А. Параметры, описывающие логику работы прибора			
А1 – 1 Режим работы ЛУ1	00	Выключено	01
	01	Устройство сравнения: прямой гистерезис (для нагревателя)	
	02	Устройство сравнения: обратный гистерезис (для охладителя)	
	03	Устройство сравнения: П-образная характеристика	
	04	Устройство сравнения: U-образная характеристика	
	05	П-регулятор: прямопропорциональный закон (нагреватель)	
	06	П-регулятор: прямопропорциональный закон (охладитель)	
	07	Регистратор	
А1 – 2 Входной сигнал ЛУ1	01	T1	01
	03	$\Delta T = T1 - T2$	
А 1 – 3	0...99 с	Задержка включения ВУ1	00
А 1 – 4	0...99 с	Задержка выключения ВУ1	00
А 1 – 5	0...999 с	Минимальное время нахождения ВУ1 во включенном состоянии	000
А 1 – 6	0...999 с	Минимальное время нахождения ВУ1 в выключенном состоянии	000

Параметр	Допустимые значения	Комментарии	Заводская уставка
А 1 – 7 Вычислитель квадратного корня (только для модифи- кации АН и АТ)	00	Выключен	00
	01	Включен по входу 1	
	02	Включен по входу 2	
	03	Включен по входам 1 и 2	
А2 – 1 Режим работы ЛУ2	00	Выключено	01
	01	Устройство сравнения: прямой гистерезис (для нагревателя)	
	02	Устройство сравнения: обратный гистерезис (для охладителя)	
	03	Устройство сравнения: П-образная характеристика	
	04	Устройство сравнения: U-образная характеристика	
	05	П-регулятор: прямопропорциональ- ный закон (нагреватель)	
	06	П-регулятор: прямопропорциональ- ный закон (охладитель)	
07	Регистратор		
А2 – 2 Тип входа ЛУ2	01	T1	02
	02	T2	
	03	ΔT	
А – 00 Параметр секретности для группы А	01	Разрешено изменять параметры ре- гулирования (Т и Δ) и параметры группы А	01
	02	Запрещено изменять параметры группы А при этом возможно изме- нять Т и Δ	
	03	Запрещено изменять параметры группы А, а также Т и Δ	

Параметр	Допустимые значения	Комментарии	Заводская уставка
Группа в. Параметры, описывающие измерения и индикацию			
в0 – 1 Код типа датчика	00	TSM 100M W100 = 1,426	01
	01	TSM 50M W100 = 1,426	
	02	TСП 100П W100 = 1,385	
	03	TСП 100П W100 = 1,391	
	04	ТХК(L)	
	05	ТХА(К)	
	07	TСП 50П W100 = 1,385	
	08	TСП 50П W100 = 1,391	
	09	TSM 50M W100 = 1,428	
	10	Унифицированный ток 4...20 мА	
	11	Унифицированный ток 0...20 мА	
	12	Унифицированный ток 0...5 мА	
	13	Напряжение 0...1 В	
в0 – 1 Код типа датчика	14	TSM 100M W100 = 1,428	
	15	TSM гр.23	
	16	ТПП (S)	
	18	ТПП(R)	
	19	ТПП(N)	
	20	ТЖК(J)	
в0 – 2 Полоса цифрового фильтра	1...30		30
в0 – 3 Глубина цифрового фильтра	1, 2, 4 и 8		2
в0 – 4 Режим индикации	00	Одиночный режим. Вывод только первого канала измерения	01
	01	Ручной режим. Вывод первого или второго канала измерения	
	02	Автоматический режим. Вывод первого или второго канала измерения	
	03	Ручной режим. Вывод первого, второго канала измерения и ΔT	
	04	Автоматический режим. Вывод первого, второго канала измерения и ΔT	

Продолжение табл. 4

Параметр	Допустимые значения	Комментарии	Заводская уставка
в0 – 5 Состояние выхода при программировании и аварии по входу	0 1	Ключевой выход в состоянии “Отключено”. Аналоговый – минимальное значение 4 мА Ключевой выход в состоянии “Включено”. Аналоговый – максимальное значение 20 мА	0
в1 – 1 Коррекция “сдвиг характеристики” для Т1	– 50,0..+50,0	Суммируется с измеренным значением	0,0
в1 – 2 Коррекция “наклон характеристики” для Т1	0,900...1,100	Измеренное значение умножается на заданный коэффициент	1,0
в1 – 3 Нижний предел регистрации для ЛУ1	– 999...9999	Показание прибора, соответствующее величине тока регистрации 4 мА	0,0
в1 – 4 Диапазон регистрации для ЛУ1	0 ... 9999	Диапазон показаний, выводимых на регистрацию	100,0
в 1 – 5 Показание прибора для нижнего предела унифицированного входного сигнала Т1	– 999...9999	Только для модификаций 2ТРМ1Х – Х.АТ.Х; 2ТРМ1Х – Х.АН.Х	0,0

Продолжение табл. 4

Параметр	Допустимые значения	Комментарии	Заводская уставка
----------	---------------------	-------------	-------------------

	значения		
в 1 – 6 Показание прибора для верхнего предела унифицированного входного сигнала Т1	–999...9999	Только для модификаций 2ТРМ1Х – Х.АТ.Х; 2ТРМ1Х – Х.АН.Х	100,0
в 1 – 7 Положение десятичной точки	00, 01, 02, 03	Только для модификаций 2ТРМ1Х – Х.АТ.Х; 2ТРМ1Х – Х.АН.Х	01
в 2 – 1 Коррекция “сдвиг характеристики” для Т2	– 50,0...+50,0	Суммируется с измеренным значением	0,0
в 2 – 2 Коррекция ”наклон характеристики” для Т2	0,900...1,100	Измеренное значение умножается на заданный коэффициент	1,0
в 2 – 3 Нижний предел регистрации для ЛУ2	–999...9999	Показание прибора, соответствующее величине тока регистрации 4 мА	0,0
в 2 – 4 Диапазон регистрации для ЛУ2	0...9999	Диапазон показаний, выводимых на регистрацию	100,0
в2 – 5 Показание прибора для нижнего предела унифицированного сигнала	– 999...9999	Только для модификаций 2ТРМ1Х – Х.АТ.Х; 2ТРМ1Х – Х.АН.Х	0,0

Окончание табл. 4

Параметр	Допустимые значения	Комментарии	Заводская уставка
в2 – 6 Показание прибо-	– 999...9999	Только для модификаций 2ТРМ1Х – Х.АТ.Х;	100,0

ра для верхнего предела унифицированного входного сигнала Т1		2ТРМ1Х – Х.АН.Х	
в – 00 Параметр секретности	01 03	Разрешено изменять параметры группы в Запрещено изменять параметры группы в	01

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бессекерский В.А., Попов Е.П.** Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003.
2. **Лазарев В.Л.** и др. Исследование фазовых портретов нелинейных систем: – Метод. указания к лабораторной работе: – Л.: ЛТИХП, 1984.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ	6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОКОЛЕБАНИЙ	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА	13
ПРИЛОЖЕНИЕ	19
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	28

Лазарев Виктор Лазаревич
Кириков Алексей Юрьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ

В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания
к лабораторной работе
для студентов, обучающихся
по направлению 220200 (550200),
специальности 220301 (210200)
всех форм обучения

Редактор

Л.Г. Лебедева

Корректор

Н.И. Михайлова

Компьютерная верстка

Н.В. Гуральник

Подписано в печать 27.09.2006. Формат 60×84 1/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63. Печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,56
Тираж 200 экз. Заказ № С 79

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9