

Министерство науки, высшего образования и технической политики
РФ.

Московский орден Ленина, Октябрьской революции и Трудового
Красного знамени государственный технический университет имени
Н.Э.Баумана

Ю.В.ИВАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ
СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДОВ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ
СБОРОЧНЫХ АВТОМАТОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С
ЧПУ.

Учебное пособие по курсу «Технология РЭС и ЭВС» для
выполнения домашних заданий и лабораторных работ по
исследованию ЦМ следящих приводов КС сборочных автоматов и
роботов с ЧПУ.

Москва 1998

Данное учебное пособие издаётся в соответствии с учебным планом.
Рассмотрено и одобрено решением кафедры ИУ-4 от 25 февраля 1998 г.
и методической комиссией факультета ИУ МГТУ имени Н.Э.Баумана.

Рецензенты:

проф., д.т.н. Ю.И.Нестеров
проф., д.т.н. МГАП М.А.Крючков

В пособии рассмотрены цифровые модели следящих приводов: электрических с двигателями постоянного тока ДПТ и переменного АД; электрогидравлических с гидроцилиндрами и гидромоторами сборочных автоматов и роботов с ЧПУ производства электронной аппаратуры. Дана методика исследования их динамики и оптимизации.

Материал рукописи направлен на повышение производительности сборочных автоматов и роботов с ЧПУ за счёт уменьшения вспомогательного времени на координатные перемещения стола при установке очередного компонента на плату на основе быстродействующих следящих приводов сборочных АТО и ПР с ЧПУ.

Учебное пособие может быть полезно студентам и специалистам других специальностей, занимающимся вопросами автоматизации сборочных работ.

Юрий Викторович Иванов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДОВ
КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ СБОРОЧНЫХ АВТОМАТОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ
РОБОТОВ С ЧПУ.**

Содержание:

1. Введение, цель работы, объект исследования	3
2. Используемое оборудование и приборы	4
3. Краткое содержание и порядок выполнения работы	4
4. Содержание студенческого отчёта	4
5. Описание цифровых моделей следящих приводов АТО и ПР	5
6. Теоретическая часть	8
7. Методика эксперимента	26
8. Контрольные вопросы	27
9. Литература	28

Редактор Е.К.Кошелева
Подписано в печать 06.04.98.
Печ.л. 1,2. Усл.печ. л. 1,1.
Тираж 300(100) экз.

Корректор Л.И.Малютина
Формат 60×84/16
Уч.-изд.л. 1,05.
Заказ № 67

Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа «Исследование цифровых моделей следящих приводов ЦМ СЛПР координатных систем КС сборочных автоматов АТО и промышленных роботов ПР» выполняется на 10 семестре.

К этому моменту студенты изучили курс «Управление техническими системами» на 7 и 8 семестрах, где получили фундаментальные знания по теории автоматического регулирования и управления.

На 6, 7, 8 семестрах по Технологии РЭС/ЭВС студенты получили технологическую подготовку по проектированию операций монтажа компонентов ЭК на плату ПП, основам построения технологических процессов, основатке. На 10 семестре в курсе « Автоматизация операций сборки электронной аппаратуры ЭА в условиях многоменклатурного производства » изучают различные сборочные автоматы АТО и промышленные роботы с ЧПУ, их устройства, в том числе следящие приводы и их влияние на точность, надёжность и производительность АТО и ПР.

Правильно выбранные СЛПР КС, виды их коррекции ПКУ и параметры ПКУ значительно уменьшают трудоёмкость наладки АТО и ПР, экономят материальные средства, а также увеличивают производительность АТО и ПР за счёт снижения вспомогательного времени на координатные перемещения стола, траверсы при сборке. Хотя следящие приводы известны давно, не один десяток лет, все же в литературе недостаточно сведений о возможностях различных следящих приводов, особенно перспективных быстродействующих, их выборе, исследовании, настройке. Восполнить этот пробел в определенной степени поможет эта лабораторная работа.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Закрепление теоретических знаний раздела « Элементы сборочных АТО и ПР с ЧПУ производства ЭА».
2. Подробное изучение ЦМ СЛПР КС сборочных АТО и ПР с ЧПУ.
3. Получение навыков в определении параметров настройки на ЦМ СЛПР КС сборочных АТО и ПР с ЧПУ.
4. Выбор наилучших значений параметров корректирующих устройств ЦМ СЛПР КС сборочных АТО и ПР с ЧПУ.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цифровые модели электрических и эл. гидравлических следящих приводов с двигателями постоянного, переменного тока, линейными цилиндрами и гидромоторами.

- ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ**
1. ЦМ электрических и эл. гидравлических следящих приводов КС сборочных АТО и ПР с ЧПУ.
 2. Пакеты программ СС и SIAM
 3. Персональная ЭВМ типа IBM PC
 4. Принтер

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получение задания от преподавателя.
2. Изучение требований ТЗ к СЛПР.
3. Изучение ЦМ СЛПР КС сборочных АТО и ПР с ЧПУ.
4. Корректировка и исследование линейных ЦМ следящих приводов КС АТО и ПР с ЧПУ в режимах собственных и вынужденных колебаний.
5. Анализ результатов исследования линейных скорректированных ЦМ СЛПР сборочных АТО и ПР с ЧПУ.
6. Совершенствование корректирующих устройств линейных ЦМ СЛПР и удовлетворение требований ТЗ.
7. Учет и ввод нелинейностей в ЦМ СЛПР, исследование СЛПР с корректирующим устройством линейной ЦМ; сравнение результатов с требованиями ТЗ.
8. Оптимизация параметров корректирующего устройства нелинейной ЦМ СЛПР сборочных АТО и ПР с ЧПУ до удовлетворения требований ТЗ.
9. Исследования нелинейной окончательно скорректированной ЦМ СЛПР. Вывод на принтер кривых переходного процесса и синусоид.
10. Тщательное определение по кривым значений полученных динамических показателей (T_n, σ, f_n, K_v). Заполнение таблицы результатов.
11. Составление отчета.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

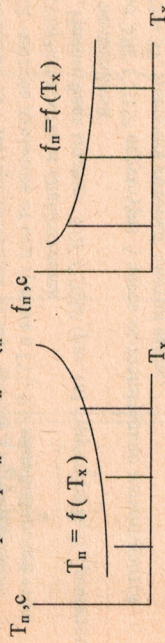
- Студенческий отчет должен содержать:
1. Таблицу данных задания на ЦМ СЛПР, требования, предъявляемые к СЛПР.
 2. Структурную схему ЦМ СЛПР.
 3. Передаточные функции блоков неизменяемой части СЛПР.
 4. ЛАЧХ неизменяемой части $L_{нзм}$, желаемой $L_{ж}$ и корректирующего устройства $L_{кор}$.
 5. Листы с кривыми переходного процесса и синусоидами.

6. Таблицу результатов исследований типа.

Линейная ЦМ		Не линейная ЦМ	
T_n, c	$\sigma, \%$	f_n, c^{-1}	K_v, c^{-1}
	p/c	$\sigma, \%$	f_n, c^{-1}
		p/c	

1. Дискету с файлом линейной и нелинейной ЦМ СЛПР с генераторами типа «ступенька» и «синусоида».

2. Графики влияния значений изменяемого параметра, например T_x на T_n и f_n :



3. Выводы.

ОПИСАНИЕ ЦМ СЛПР КС СБОРОЧНЫХ АТО И ПР С ЧПУ ПРОИЗВОДСТВА ЭА

ЦМ СЛПР в зависимости от степени полноты описания процессов, происходящих в них, могут быть линейными и нелинейными. Последние описывают их наиболее полно, они ближе к оригиналу, но более сложны в понимании, исследованиях и наладке.

1. Линейная модель электрогидравлических ЭЛГ СЛПР (рис. 1а), структура типа А с ГЦ, содержит следующие блоки: 1,5,6,7,8,10,15,33,34,39 или 40, еще возможны 2,3,4 (1-блок последовательно корректирующего устройства ПКУ; 5 - блок обратной связи по скорости; 6- обратной связи по положению; 7 - электрической части электромеханического преобразователя ЭМП пропорционального действия; 8- оригинального трехступенчатого электрогидравлического преобразователя ЭГУ в первой ступени которого - механическая часть ЭМП, во второй - два сопла с заслонкой, в третьей - золотниковая цилиндрическая пара; 10 - гидравлической постоянной; 15, 33 и 34 - гидродвигателя (ГЦ); 39 - генератора «ступенька», 40 - генератора «синусоида»; 2 - регулятора скорости; 3 - регулятора контура второй производной; 4 - датчика обратной связи по второй производной).
2. Линейная модель ЦМ ЭЛГ СЛПР структуры типа В-с ГМ содержит следующие блоки: 1,5,6,7,8,10,15,33,34,35,37,39 или 40 и

возможны блоки 2,3,4. По отношению к структуре А здесь добавлены блоки 35 и 37 (35- механического редуктора, 37- механического преобразователя типа винт-гайка).

3. Нелинейная модель ЭЛГ СЛПР (рис. 1а, структура А) содержит следующие блоки:

1,5,6,7,8,9,10,15,33,34,18,20,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49 возможны еще - 2,3,4,16. В сравнении с линейной моделью здесь дополнительно используются блоки:

9,18,20,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,41,42,43 и возможны еще 16 и 44 (31 - вычитания; 30,32,41 и 42 - умножения; 43,44 - сложения; 23 - извлечение корня; 24,29 - модули сигнала; 20,26,28 - сигнатуры сигнала (релейная характеристика); 27 - уровни давления P_n ; 16 - потеря давления от сил резания; 18 - потеря давления от сил трения в направляющих стола; 22 - потеря давления от сил трения в ГЦ; 9 - нелинейностей типа «нечувствительность» и «насыщение».

4. Нелинейная модель ЭЛГ СЛПР (рис.1а) структура В. В сравнении с нелинейной моделью ЭЛГ СЛПР структуры А здесь дополнительно используются блоки 35 и 37, значения которых смотри выше.

5. Линейная модель электрического ЭЛ СЛПР с ДПТ пм, АД (рис.16 тип С) содержит блоки: 1,5,6,8,15,33,34,35,37,38,39 или 40, еще возможны 2,3,4 (1- последовательного корректирующего устройства, 5- обратной связи по скорости; 6- обратной связи по положению; 8- тиристорного преобразователя : 15,33,34,35 и 38 - двигателя ДПТ или АД; 37- преобразователя «винт-гайка»; 4- обратной связи по току; 11,12,13 - вычитания; 39 - генератора «ступенька»; 40 - генератора «синусоида»).

6. Линейная модель ЭЛ СЛПР с АД (рис.16 тип Д) аналогична типу С с той лишь разницей, что блоки 15,33,34,36 и 38 - двигателя АД, а блок 8 - частотного преобразователя.

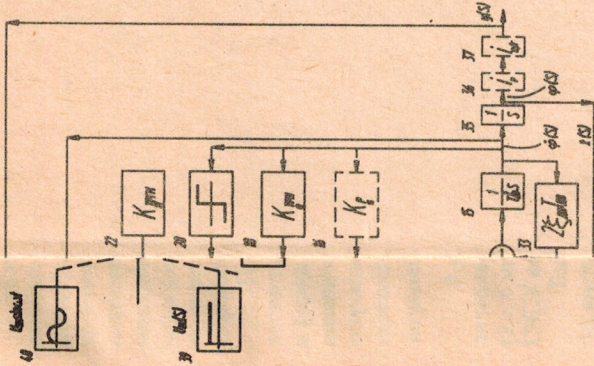
7. Линейная модель ЭЛ СЛПР с ДПТ эмв (рис.16 тип Е) аналогична линейной модели ЭЛ СЛПР с ДПТ пм с добавлением блока 42 - механического редуктора.

8. Нелинейная модель ЭЛ СЛПР с ДПТ пм (рис. 16 тип С) включает дополнительно к линейной модели ЭЛ СЛПР с ДПТ пм блоки 9,18,20,22,44,45 и возможно 16 и 43 (18 - трения в направляющих стола, 22- трения вала в двигателе; 43,44 - суммирование; 45 - умножения; 20 - релейной характеристики трения; 41- вычитания; 16 - полезной нагрузки (резанием)).

9. Нелинейная модель ЭЛ СЛПР с АД аналогична предыдущей.

10. Нелинейная модель ЭЛ СЛПР с ДПТ эмв. В сравнении с линейной в неё добавляются блоки 9,18,20,22,44,45 и возможно 16 и 43. Передаточные функции блоков ЦМ СЛПР приведены на рис 1а и б, а значения постоянных времени и коэффициентов в таблице задания.

и ГМ привода



$$J_{\text{м}} = J_{\text{м}} + J_{\text{г}} + J_{\text{д}} + \frac{m_{\text{д}}^2}{2q^2} K_{\text{г}} = J_{\text{м}} + \frac{J_{\text{г}}}{q^2} + \frac{m_{\text{д}}^2}{2q^2} K_{\text{г}}$$

$$M_{\text{м}} = \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} M_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = \frac{M_{\text{д}}}{q} \varphi(\Omega)$$

$$M_{\text{г}} = \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} M_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = \frac{M_{\text{д}}}{q} \varphi(\Omega)$$

$$M_{\text{д}} = (1 - \eta) M_{\text{м}}$$

$$M_{\text{д}} = (1 - \eta) \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} M_{\text{м}} = (1 - \eta) \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = (1 - \eta) \frac{M_{\text{д}}}{q}$$

$$M_{\text{д}} = (1 - \eta) \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = (1 - \eta) \frac{M_{\text{д}}}{q}$$

$$M_{\text{д}} = (1 - \eta) \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = (1 - \eta) \frac{M_{\text{д}}}{q}$$

$$M_{\text{д}} = (1 - \eta) \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = (1 - \eta) \frac{M_{\text{д}}}{q}$$

$$M_{\text{д}} = (1 - \eta) \frac{F_{\text{д}}}{2\pi n_{\text{д}}} \frac{M_{\text{д}}}{q} = (1 - \eta) \frac{M_{\text{д}}}{q}$$

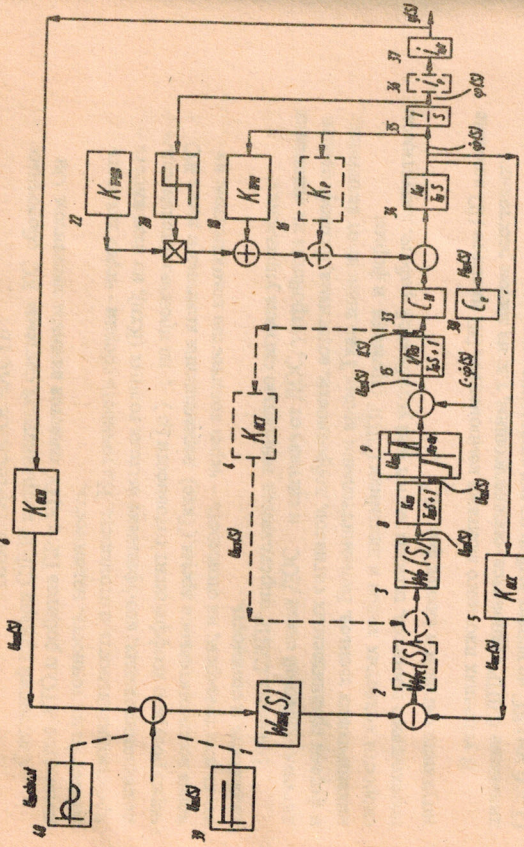
$$1/(2.7 \cdot 10^{-5} s + 2.9 \cdot 10^{-5} s + 1) (1.8 \cdot 10^{-5} s + 4.8 \cdot 10^{-5} s + 1) (0.4 s + 1)$$

$$1/(2.2 \cdot 10^{-5} s + 1) (5 \cdot 10^{-5} s + 5.9 \cdot 10^{-5} s + 1) (3.4 \cdot 10^{-5} s + 1.5 \cdot 10^{-5} s + 1)$$

$$1/10^{-5} s + 1 (5 \cdot 10^{-5} s + 1) (5 \cdot 10^{-5} s + 1) (5 \cdot 10^{-5} s + 1) (5 \cdot 10^{-5} s + 1)$$

Модели действующих СЛПР столов АТОЧу

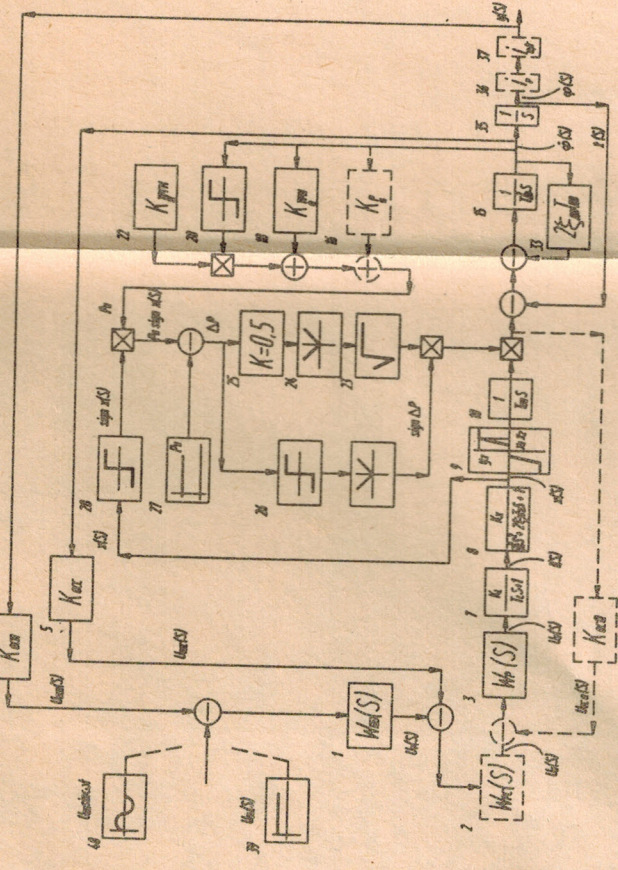
Нелинейная модель ЦМ ЭЛСЛ привода



Уравнения, описывающие ЭЛСЛПР

$$\begin{aligned}
 & \dot{e}_1 = -\lambda_1 e_1 - \lambda_2 e_2 \\
 & \dot{e}_2 = -\lambda_3 e_2 + \lambda_4 e_1 \\
 & \dot{e}_3 = -\lambda_5 e_3 + \lambda_6 e_2 \\
 & \dot{e}_4 = -\lambda_7 e_4 + \lambda_8 e_3 \\
 & \dot{e}_5 = -\lambda_9 e_5 + \lambda_{10} e_4 \\
 & \dot{e}_6 = -\lambda_{11} e_6 + \lambda_{12} e_5 \\
 & \dot{e}_7 = -\lambda_{13} e_7 + \lambda_{14} e_6 \\
 & \dot{e}_8 = -\lambda_{15} e_8 + \lambda_{16} e_7 \\
 & \dot{e}_9 = -\lambda_{17} e_9 + \lambda_{18} e_8 \\
 & \dot{e}_{10} = -\lambda_{19} e_{10} + \lambda_{20} e_9
 \end{aligned}$$

Нелинейная модель ЦМ ЭЛСЛ с ЦИ и ГМ привода



Уравнения, описывающие ЭЛСЛПР

$$\begin{aligned}
 & \dot{e}_1 = -\lambda_1 e_1 - \lambda_2 e_2 \\
 & \dot{e}_2 = -\lambda_3 e_2 + \lambda_4 e_1 \\
 & \dot{e}_3 = -\lambda_5 e_3 + \lambda_6 e_2 \\
 & \dot{e}_4 = -\lambda_7 e_4 + \lambda_8 e_3 \\
 & \dot{e}_5 = -\lambda_9 e_5 + \lambda_{10} e_4 \\
 & \dot{e}_6 = -\lambda_{11} e_6 + \lambda_{12} e_5 \\
 & \dot{e}_7 = -\lambda_{13} e_7 + \lambda_{14} e_6 \\
 & \dot{e}_8 = -\lambda_{15} e_8 + \lambda_{16} e_7 \\
 & \dot{e}_9 = -\lambda_{17} e_9 + \lambda_{18} e_8 \\
 & \dot{e}_{10} = -\lambda_{19} e_{10} + \lambda_{20} e_9
 \end{aligned}$$

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Следящий привод СЛПР координатной системы КС сборочных автоматов АТО и роботов РР с ЧПУ является важным элементом. Он влияет на их точность, надежность, производительность и стоимость. На точность сборки - через точность позиционирования; коэффициент выхода годных (Ктп); на надежность - через ресурс и коэффициент готовности (ρ); на производительность - через вспомогательное время (Твкс) перемещения конечного звена КС стола или траверсы; на стоимость - через количество компонентов; их сложность и стоимость.

Точность СЛПР определяется точностью сигнала управления датчика обратной связи ДЮС и сигнала от ДЮС, устройства их сравнения и формы сравниваемых сигналов, добротности, астатизма, безлофтовости механических звеньев. Вспомогательное время Твкс зависит от величины скорости холостых ходов и динамики СЛПР (времени и формы переходного процесса, полосы частот при устойчивой работе, допустимом затухании сигнала и сдвиге фаз $\leq \frac{\pi}{2}$).

В условиях плотного монтажа компонентов ЭЖ на плате ПП влияние динамики СЛПР становится определяющим, т.к. на малом расстоянии (5...6 мм) КС не успевает выйти на номинальную скорость, как следует от СЧПУ команда на торможение.

Быстродействие СЛПР зависит от энергетических, динамических параметров двигателя (Дв), усилителя мощности (Ум), вида сопряжения вала Дв со столом АТО или траверсой Пр. По виду соединения вала Дв со столом или траверсой КС можно СЛПР разделить на три группы. В первой группе вал Дв соединен со столом непосредственно, во второй - через механический преобразователь вращательного движения в поступательное - «винт-гайку» (в/г), в третьей - через механический редуктор и преобразователь в/г.

В быстродействующих СЛПР механический редуктор МР, преобразователь в/г и направляющие (Н) должны быть безлофтовыми и иметь малое трение. Этим требованиям отвечают конструкции МРс разрезными шестернями и эластичным элементом; в/г и Н с шариками.

По типу энергетической рабочей среды (силовая энергия) СЛПР можно разделить на электрические ЭЛСЛПР с постоянным или переменным током и электрогидравлические ЭЛГСЛПР.

По типу применяемых двигателей: с двигателями постоянного тока и возбуждением от постоянных магнитов ДППм и электромагнитным возбуждением ДПЭмв; с двигателями АД переменного тока (асинхронные, синхронные, вентильные); с линейными гидроцилиндрами ГЦ и гидромоторами ГМ.

Если СЛПР спроектирован, т.е. все проблемы выбора – позади, то его быстрое действие можно повысить путем правильного выбора вида коррекции и ее параметров.

В данной работе студенты занимаются исследованием цифровых моделей следящих приводов ЦМ СЛПР КС сборочных АТО и ПР с ЧПУ. В начале изучают линейную ЦМ СЛПР, определяют корректирующее устройство и рассчитывают его параметры. Исследуя линейную ЦМ СЛПР в режимах собственных и вынужденных колебаний и оптимизируя значения параметров ПКУ добиваются выполнения требований ТЗ.

Затем подключают блоки нелинейной модели (согласно рис.1) и ПКУ линейной ЦМ. Исследуют нелинейную ЦМ СЛПР, обеспечивая ее устойчивость и нужное качество (T_n, σ, f_n, K_v). Чтобы получить нужные значения T_n, σ, f_n, K_v , может потребоваться ручная подгонка значений ПКУ или даже изменение его звеньев.

Рассмотрим действия по исследованию и наладке ЦМ СЛПР сборочного АТО с ЧПУ на примере.

ПРИМЕР 1. Выполнить настройку следящего привода координатной системы КС сборочного автомата с ЧПУ по его цифровой модели ЦМ СЛПР.

Исходные данные: цифровая модель рис.1, схема А. Передаточные функции блоков ЦМ (рис.2)

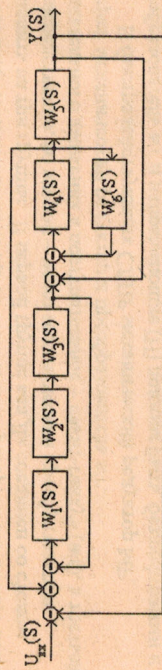


Рис.2 Заданная структурная схема неизменяемой части ЦМ СЛПР

$$W_1(s) = \frac{K_1}{T_L s + 1} \quad W_2(s) = \frac{K_x}{T_x^2 s^2 + 2\xi_x T_x s + 1} \quad W_3(s) = \frac{K_m}{s}$$

$$W_4(s) = \frac{K_4}{s} \quad W_5(s) = \frac{K_5}{s} \quad W_6(s) = 2\xi_{цп} T_{цп} = 0,92 \cdot 10^{-3}$$

$$T_L = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}; \quad K_x = 4,67 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}; \quad T_x = 6,93 \cdot 10^{-4} \text{ с}; \quad \xi_{цп} = 0,2;$$

$$K_m = 139,8; \quad K_1 = K_5 = 1;$$

$$K_4 = \frac{1}{T_n} = 1,89 \cdot 10^5$$

I Исследование линейной ЦМ СЛПР КС АТО

1.Свертывание блоков ЦМ неизменяемой части СЛПР в один

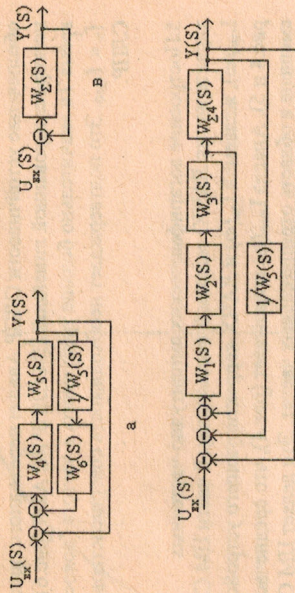


Рис 3 -Последовательность преобразования схемы

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s) \cdot \left[\frac{1}{W_{\Sigma 4}(s)} + W_5(s) \right]}$$

Где $W_{\Sigma 4}(s) = \frac{W_4(s) \cdot W_5(s)}{1 + W_4(s) \cdot W_5(s) + W_4(s) \cdot W_6(s)}$

Подставим числовые значения исходных данных:

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{1,05 \cdot 10^{-10} s^6 + 5,596 \cdot 10^{-7} s^5 + 6,11 \cdot 10^{-4} s^4 + 1,189 s^3 + 267,91 s^2 + 201350,55 s + 12339,17}{(16,32s + 1) \cdot (4,94 \cdot 10^{-6} s^2 + 8,29 \cdot 10^{-4} s + 1) \cdot (4,82 \cdot 10^{-7} s^2 + 2,81 \cdot 10^{-4} s + 1) \cdot (2,19 \cdot 10^{-4} s + 1)}$$

2.Преобразование передаточной функции $W_{\Sigma}(s)$.

Освободимся от числителя и с помощью пакета программ СС представим знаменатель в виде двух аperiодических и двух колебательных звеньев:

$$W_{\Sigma}(s) = (16,32s + 1) \cdot (4,94 \cdot 10^{-6} s^2 + 8,29 \cdot 10^{-4} s + 1) \cdot (4,82 \cdot 10^{-7} s^2 + 2,81 \cdot 10^{-4} s + 1) \cdot (2,19 \cdot 10^{-4} s + 1)$$

3.Нахождение сопрягающих частот этих звеньев.

Время Т,с	Частота ω, 1/с	Логорифм частоты lg(ω)	Коэффициент демпфирования
T ₁ =16,32	ω ₁ =0,06127	lg(ω ₁)=-1,213	
T ₂ =2,22·10 ⁻³	ω ₂ =450,45	lg(ω ₂)=2,65	0,186423667
T ₃ =6,94·10 ⁻⁴	ω ₃ =1440,9221	lg(ω ₃)=3,1586	0,2023731097
T ₄ =2,19·10 ⁻⁴	ω ₄ =4566,211	lg(ω ₄)=3,6596	

$$\xi_2 = 8,29 \cdot 10^{-4} / 2T_2 = 8,29 \cdot 10^{-4} / 2 \cdot 2,22 \cdot 10^{-3} = 0,186423667;$$

$$\xi_3 = 2,81 \cdot 10^{-4} / 2 \cdot 0,694 \cdot 10^{-3} = 0,202373197$$

4. Замыкание привода обратной связи, исследование в режиме собственных колебаний (на единичное ступенчатое воздействие) и обеспечение устойчивости СЛПР. Анализ переходного процесса нескорректированной линейной ЦМ СЛПР КС АТО (рис.6) показывает, что время Тп значительно больше требуемого, а частота (полоса пропускания) fн « fтреб. Это подтверждает необходимость совершенствования коррекции СЛПР.

5. Построение логарифмических амплитудно-частотных характеристик ЛАЧХ: заданной неизменяемой части ЦМ СЛПР КС АТО $L_{изм}(\omega)$, желаемой $L_{ж}(\omega)$ и ЛАЧХ корректирующего устройства $L_{кор}(\omega)$ (см. рис.4 и 5). Анализ $L_{изм}(\omega)$ показывает (рис.4), что среднечастотная часть смещена в область отрицательных частот. Это делает ЦМ СЛПР нестабильной.

Строим $L_{ж}(\omega)$. Определим параметры желаемой ЛАЧХ. Из ТЗ известно, что $T_{ж} = T_{п} = 6,7 \cdot 10^{-3}$ с; $\sigma_{ж} = (5...8)\%$

Воспользуемся номограммой качества $\sigma = f(P_{ж})$ и $T_{п} = f(P_{ж})$ для заданного σ , $T_{п} = T_{ж}$ по номограмме качества (Рис.8)

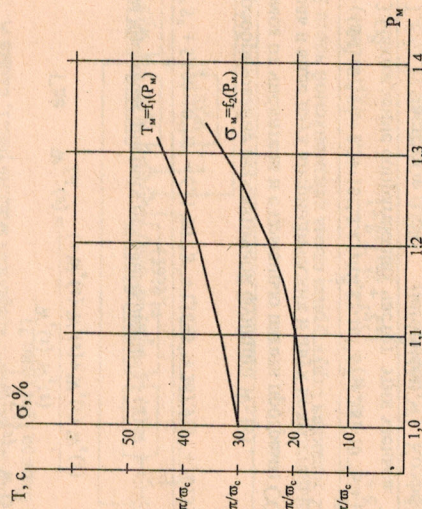


Рис.8 Номограмма качества

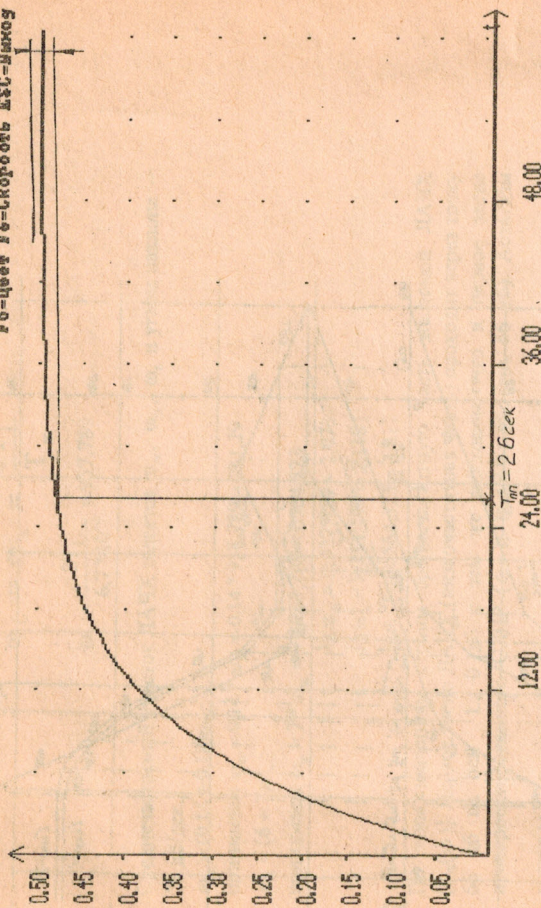


рис.6 Нескорректированная линейная система. График переходного процесса.

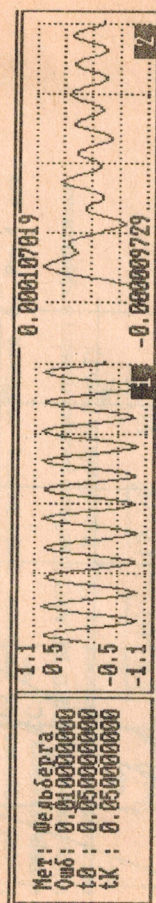


рис.7 Нескорректированная линейная система. Сигнал sin и отклик системы на него ($\omega = 1200$ рад/сек).

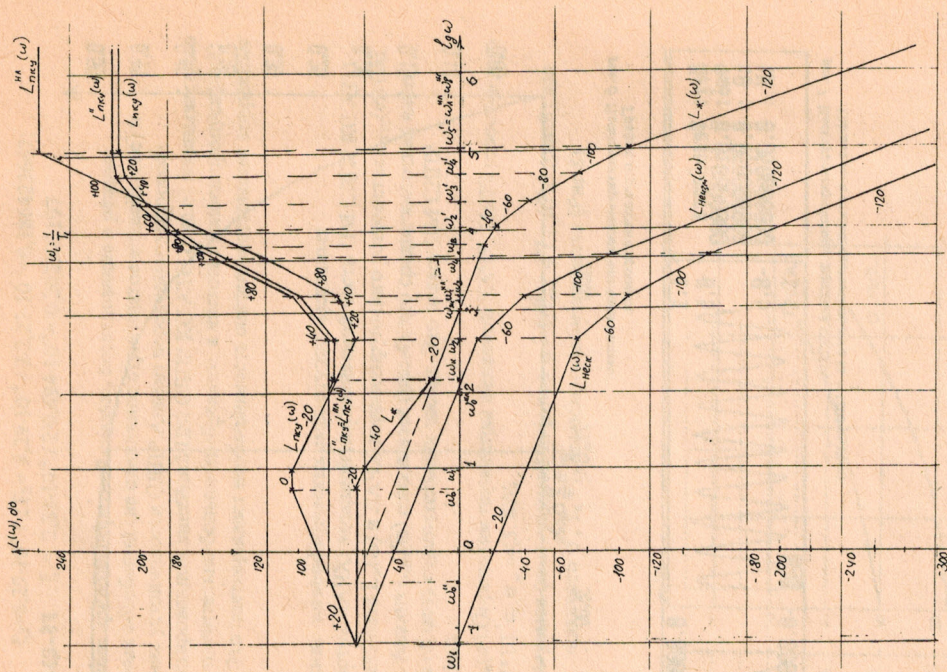


Рис. 4. ЛАЧХСАПР

$$\omega_c = \omega_{ж} = \frac{2T_1}{T_{ж}}$$

$$\omega_{ж} = \frac{2T_1}{6,7 \cdot 10^{-3}} = 937,789$$

Среднечастотный участок ЛАЧХ задается $\omega_{ж}$, $\omega_{н}$ и углом наклона - 20 дБ/дек.

$$\omega_{н} = (0,14 \div 0,18)\omega_{ж};$$

$$\text{принимаяем } \omega_{н} = 0,14 \cdot \omega_{ж} = 0,14 \cdot 937,789 = 131,29$$

$$\omega_{в} = (6 \div 7)\omega_{ж};$$

$$\text{принимаяем } \omega_{в} = 7 \cdot \omega_{ж} = 7 \cdot 937,789 = 6564,523$$

$$\lg \omega_{ж} = \lg 937,789 = 2,973$$

$$\lg \omega_{н} = \lg 131,290 = 2,1181$$

$$\lg \omega_{в} = \lg 6564,523 = 3,817$$

По этим значениям строим среднечастотную часть желаемой ЛАЧХ [L_ж(ω)]. Первое звено ЛАЧХ (низкочастотная часть) проходит через точку 66 дБ на оси L, 0 дБ с тем же наклоном, что и первое звено некорректированного СЛПР (ω=1; lg ω=0; уровень 66 дБ). Астатизм СЛПР V_ж=0.

$$K_{ж} = 2000; 20 \lg 2000 = X \text{ (дБ)}; X = 20 \cdot 3,3 = 66 \text{ (дБ)}$$

L_{пмх}(ω) определяем методом графического сложения по Рис.4 или используя пакет СС.

6.Коррекция ЦМ СЛПР КС АТО. Наиболее распространена и эффективна последовательная коррекция W_{пмх}. Выполним ее (рис.7)

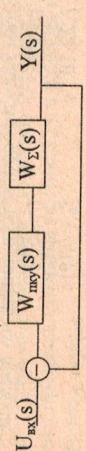


Рис.7.Схема установки последовательной коррекции.

Определим параметры L_{пмх}(ω) путем построения желаемой L_ж(ω) и вычитания из нее L_{зптн}(ω):

$$L_{пмх}(\omega) = L_{ж}(\omega) - L_{зптн}(\omega)$$

Сопрягаем для более плавного перехода на будущей L_{пмх}(ω) низкочастотную часть ЛАЧХ со среднечастотной двумя звеньями с наклонами соответственно - 40 дБ/дек и - 20 дБ/дек. Частота ω₀ и ω₁ подбирается экспериментально.

$$\omega_0^1 = 5,248; \lg(\omega_0^1) = 0,77$$

$$\omega_1^1 = 10; \lg(\omega_1^1) = 1$$

Высокочастотная часть $L_{ж}(\omega)$ имеет тот же наклон, что и ВЧ часть ЛАЧХ нескорректированного СЛПР (-120 дБ/дек).

7. Вправо достраиваем пять аperiodических звеньев, частоты сопряжения определяем экспериментально. Они будут равны соответственно:

$$\omega_b = \omega_1^1 = 6564,523 \quad \lg(\omega_b) = \lg 6564,523 = 3,817$$

$$\omega_2^1 = 10000 \quad \lg(\omega_2^1) = \lg 10000 = 4$$

$$\omega_3^1 = 21379,62 \quad \lg(\omega_3^1) = \lg 21379,62 = 4,33$$

$$\omega_4^1 = 46773,51 \quad \lg(\omega_4^1) = \lg 46773,51 = 4,67$$

$$\omega_5^1 = 100000 \quad \lg(\omega_5^1) = \lg 100000 = 5$$

По этим значениям строим желаемую ЛАЧХ

8. Определяем параметры корректирующего устройства $L_{пкx}$

$$W_{пкx}(s) = K_{ж} \cdot \frac{\left[\left(\frac{1}{\omega_1} s + 1 \right) \left[\left(\frac{1}{\omega_2} s + 1 \right) \left[\left(\frac{1}{\omega_3} s + 1 \right) \left[\left(\frac{1}{\omega_4} s + 1 \right) \left[\left(\frac{1}{\omega_5} s + 1 \right) \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right] \rightarrow$$

По сопрягающим частотам находим соответствующие им времена:

$$\begin{aligned} T_1 &= 16,32 \text{ с} & T_1^1 &= 0,1 \text{ с} \\ T_2 &= 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ с} & T_2^1 &= 0,191 \text{ с} \\ T_3 &= 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ с} & T_3^1 &= 10^{-4} \text{ с} \\ T_4 &= 2,19 \cdot 10^{-4} \text{ с} & T_4^1 &= 4,68 \cdot 10^{-5} \text{ с} \\ T_5 &= 7,617 \cdot 10^{-5} \text{ с} & T_5^1 &= 2,138 \cdot 10^{-2} \text{ с} \\ T_6 &= 1,523 \cdot 10^{-4} \text{ с} & T_6^1 &= 10^{-5} \text{ с} \end{aligned}$$

Анализ $L_{пкx}$ показывает, что частота среза ($\omega_{ж} = 937,789$) лежит левее линии $\omega_1 = 1/T_1$

Это позволяет использовать $L_{пкx}$ для коррекции ЦМ СЛПР КС АТО. Высокочастотная часть $L_{пкx}(\omega)$ расположена правее линии ω_1 , поэтому дальнейший подъём высокочастотной части $L_{пкx}(\omega)$ невозможен из-за физических ограничений блока $W_1(s)$.

9. Включение в схему ЦМ СЛПР $W_{пкx}(s)$:

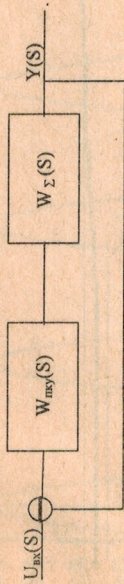


Рис.9 Включение корректирующего устройства в схему ЦМ КС АТО СЛПР

В обоих форсирующих звеньях корректирующего устройства примем коэффициент $\xi_2 = \xi_3 = 0,2$ близкий коэффициентам демпфирования колебательных звеньев. Тогда получим:

$$W_{пкx}(s) = 2000 \cdot \frac{(16,32s + 1)(7,617 \cdot 10^{-3}s + 1)(4,93 \cdot 10^{-6}s^2 + 8,88 \cdot 10^{-4}s + 1) \cdot (4,81 \cdot 10^{-7}s^2 + 2,774 \cdot 10^{-4}s + 1)(2,19 \cdot 10^{-4}s + 1)(10^{-4}s + 1)(4,68 \cdot 10^{-5}s + 1)}{(2,138 \cdot 10^{-5}s + 1)(10^{-5}s + 1)}$$

10. Исследование скорректированной ЦМ КС АТО СЛПР в режиме вынужденных колебаний даёт переходной процесс (Рис. 10), у которого время T_n близко к заданному, а величина перерегулирования $\sigma = 0,26 > \sigma_z$. Необходимо дальнейшее совершенствование $L_{пкx}$. Теория автоматического управления позволяет сопрягать низкочастотную и среднечастотную части звеньями с любым наклоном, кратным 20 дБ/дек. Заменяем два

сопряженных звена $(\omega_0 s + 1)^{-1}(\omega_1 s + 1)^{-1}$ на одно $(\omega_0 s + 1)^{-1}$ с наклоном -20 дБ/дек (рис.4 пункт). Это вызовет незначительное уменьшение добротности привода и уменьшит величину перерегулирования. Кривая переходного процесса показана на (рис.12), а реакция на синусоиду - на (рис. 13). В этом случае

$$\begin{aligned} \omega_0 &= 0,33; \quad \lg(\omega_0) = \lg 0,33 = -0,48; \quad T_0^1 = 3,03 \text{ с} \\ W_{пкx}^n(s) &= 2000 \cdot \frac{(16,32s + 1)(4,93 \cdot 10^{-6}s^2 + 8,88 \cdot 10^{-4}s + 1)}{(3,03s + 1)(4,523 \cdot 10^{-4}s + 1)(10^{-4}s + 1)(4,68 \cdot 10^{-5}s + 1)} \\ &= \frac{4,81 \cdot 10^{-7}s^2 + 2,774 \cdot 10^{-4}s + 1}{(2,138 \cdot 10^{-5}s + 1)(10^{-5}s + 1)} \end{aligned}$$

11. Передаточная функция ЛАЧХ линейной скорректированной ЦМ СЛПР КС АТО, удовлетворяющей требованиям ТЗ:

$$W_{пкx}^n(s) = W_{пкx}^n(s) \cdot W_{ц}(s)$$

$$W_{пкx}^n(s) = \frac{2000}{(3,03s + 1)(4,523 \cdot 10^{-4}s + 1)(10^{-4}s + 1)(4,68 \cdot 10^{-5}s + 1)(10^{-5}s + 1)}$$

Ф5-Цвет Ф6-Скорость ЭСС-Выход

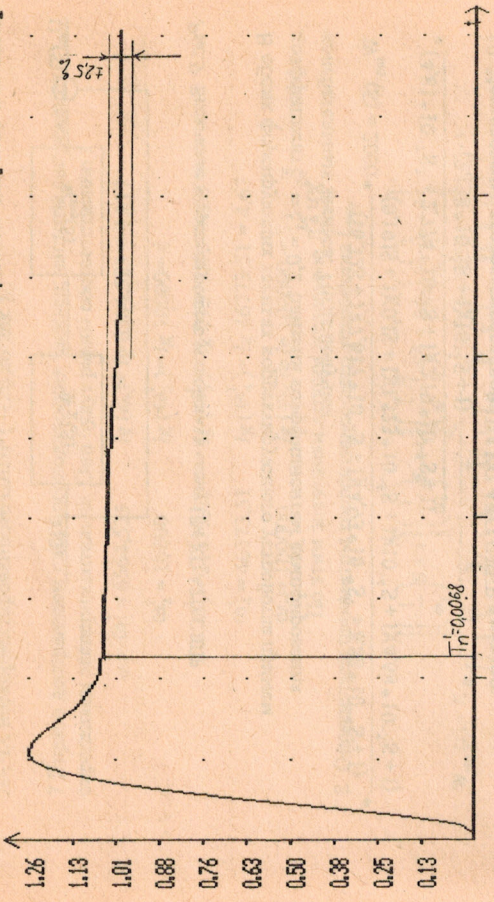


рис.10 Скорректированная линейная система (базовый вариант ПКУ).
График переходного процесса.

Ф5-Цвет Ф6-Скорость ЭСС-Выход

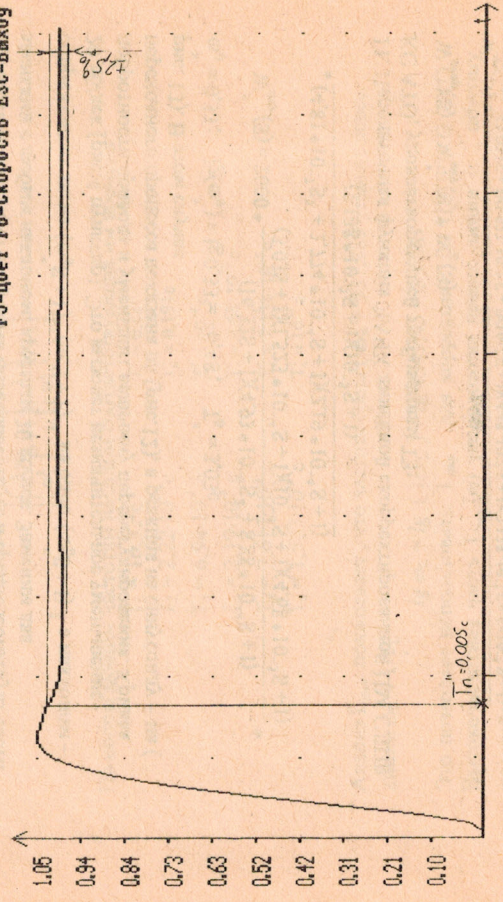


рис.14 Скорректированная линейная система (улучшенный вариант ПКУ).
График переходного процесса.

Ф5-Цвет Ф6-Скорость ЭСС-Выход

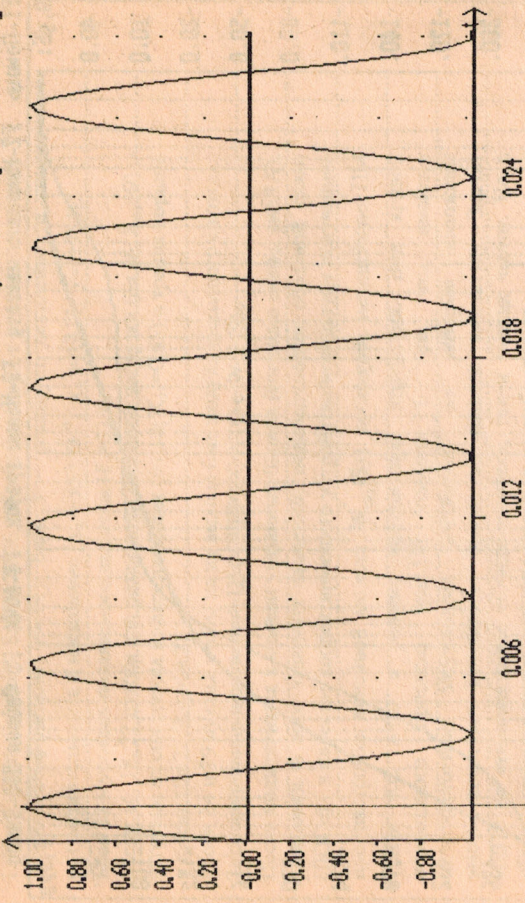


рис.12 Скорректированная линейная система.
Сигнал вл. подаваемый на вход системы ($\omega = 1200$ рад/сек).

Ф5-Цвет Ф6-Скорость ЭСС-Выход

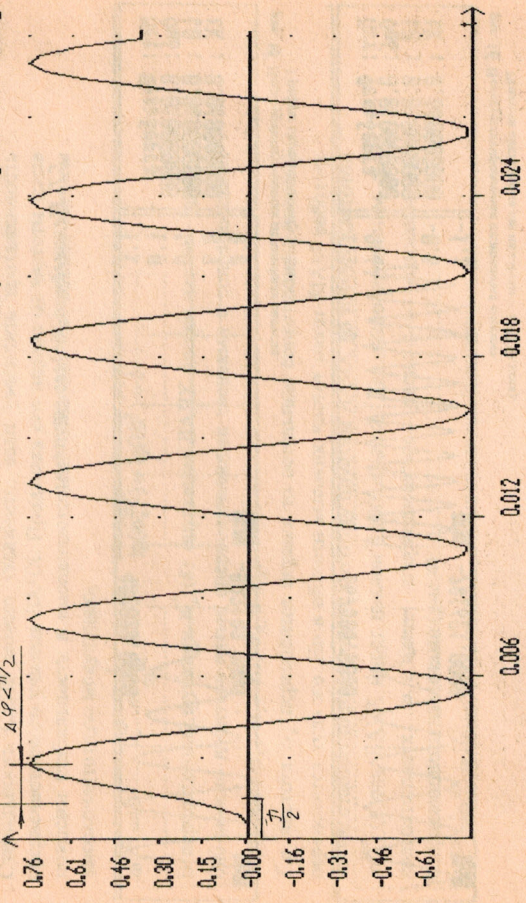


рис.13 Скорректированная линейная система.
Отклик системы на сигнал вл ($\omega = 1200$ рад/сек).

II. Исследование нелинейной модели ЦМ СЛПР КС АТО.

1. Учет нелинейностей. Блоки 20, 26, 28 символизируют релейный характер трения (коэффициент $y = \pm 1$). Блок 9 — реализует нелинейности типа нечувствительность и насыщение ($x_1 = \pm 3 \cdot 10^{-4}$, $x_2 = \pm 0,12$; $y = \pm 954$). Блок 27 — уровень подаваемого давления ($P_n = 312$).
- Блоки 16, 18, 22 нужны для реализации полезной нагрузки (бл. 16; $K_{16} = 9$) и нагрузки от сил трения в направляющих (бл. 18; $K_{18} = 0,65$) и трения поршня и штока (бл. 22; $K_{22} = 49,2$).
- Блоки 24 и 39 нужны, чтобы на их выходе был модуль выходного сигнала.
2. Исследование нелинейной ЦМ СЛПР КС АТО с $W_{\text{пк}}(S)$.

После подключения к модели указанных блоков (согласно схеме рис. 1А), уставки в них заданных значений, подсоединении обратной связи (ДОСн) (в качестве корректирующего устройства используем полученное при настройке линейной модели $W_{\text{пк}}^n(S)$) исследуем нелинейную ЦМ СЛПР КС АТО в режиме собственных колебаний. Вид кривой переходного процесса (рис. 14) говорит о том, что имеются низкочастотные затухающие колебания, на которые наложены высокочастотные. Колебания имеют постоянную амплитуду. Значит СЛПР не стабилен как в области высоких, так и низких частот. Но в области средних частот имеется некоторая неустойчивость.

3. Дальнейшее совершенствование $W_{\text{пк}}^n(S)$ применительно к нелинейной ЦМ СЛПР КС АТО.

Стабильность СЛПР можно увеличить, если увеличить протяженность среднечастотного участка ЛАЧХ. Продлевая его вправо от частоты среза повысим стабильность в высокочастотной области. Тем самым снимем высокочастотную модуляцию.

$$\omega_{\text{нл}}^{\text{нл}} = 10^5 \quad T_{\text{нл}}^{\text{нл}} = \frac{1}{\omega_{\text{нл}}^{\text{нл}}} = 10^{-5} \quad \lg(\omega_{\text{нл}}^{\text{нл}}) = \lg(10^5) = 5$$

В передаточной функции $W_{\text{пк}}^n(S)$ опускание ЛАЧХ до оси частот — линии 0дБ можно добиться пятью аperiodическими звеньями с сопрягающими частотами $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ и ω_5 .

Т.к. частота ω_5 переносится вправо, то остальные сопрягающие частоты переносятся туда же. Но в области высоких частот пакет пакет SIAM работает менее стабильно и медленно. Поэтому опустим ЛАЧХ до точки с частотой $\omega_{\text{нл}}^{\text{нл}}$ (здесь ЛАЧХ имеет наклон +100 дБ/дек). Для этого применим два колебательных и одно аperiodическое звено с одинаковыми сопрягающими частотами (рис. 4).

$$\omega_{\text{нл}}^{\text{нл}} = \omega_{\text{нл}}^{\text{нл}} = 10^5$$

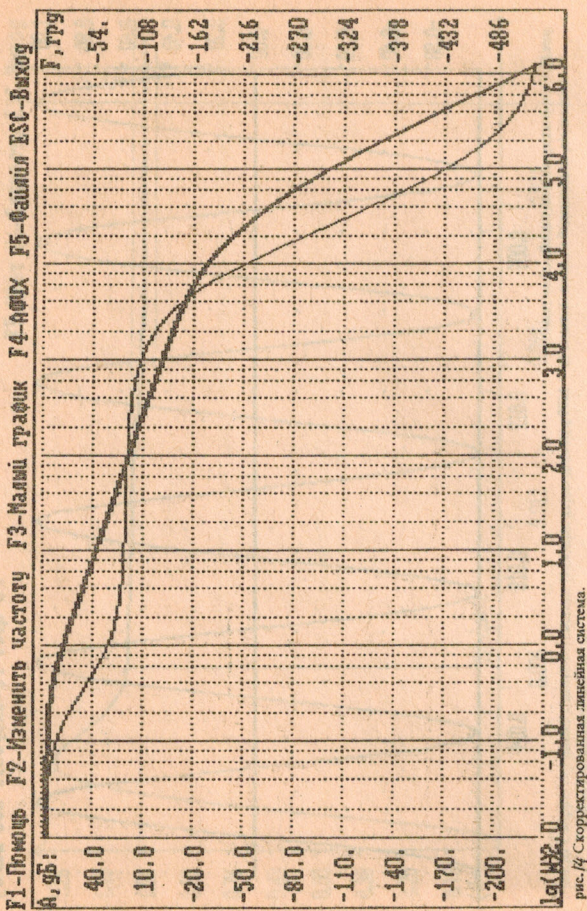


рис. 14 Скорректированная линейная система. График ЛАФЧХ.

II. Нелинейная модель системы.



рис. 15 Нескорректированная нелинейная система. График переходного процесса.

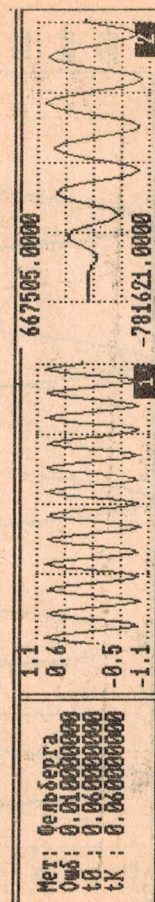


рис. 16 Нескорректированная нелинейная система. Реакция системы на сигнал зиг (ω = 1200 рад/сек).

В этом случае корректирующее устройство примет вид (первый этап совершенствования коррекции нелинейной ЦМ):

$$W_{\text{му}}^{\text{НЛ}}(S) = 2000 * (16,32S + 1)(4,93 * 10^{-6} S^2 + 8,88 * 10^{-4} S + 1) \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(4,81 * 10^{-7} S^2 + 2,774 * 10^{-7} S + 1)(2,19 * 10^{-4} S + 1)}{(10^{-10} S^2 + 2 * 10^{-5} S + 1)}$$

Исследуем нелинейную ЦМ СЛПР КС АТО с корректирующим устройством $W_{\text{му}}^{\text{НЛ}}(S)$ в режиме собственных колебаний. Переходный процесс представлен на рис.15. Высокочастотные колебания удалось устранить, но процесс носит пока колебательный характер.

Второй этап совершенствования коррекции нелинейной ЦМ. Введем еще одно аperiodическое звено, вызывающее отрицательный фазовый сдвиг. Соприженную частоту подберем близкую к частоте колебаний (рис.15; $T \approx 0,01$; $\omega = 10^2$). Это звено опустит ЛАЧХ на -20 дБ/дек. Это должно увеличить устойчивость как в области средних, так и высоких частот. Для соблюдения формальных требований пакета SIAM в $W_{\text{му}}^{\text{НЛ}}$. Для компенсации введенного аperiodического звена введем форсирующее аperiodическое звено. Сопригающую частоту последнего определим экспериментально, вырав ее вначале немного меньше ω_2 , а затем будем ее постепенно увеличивать до тех пор, пока не будут подавлены колебания в кривой переходного процесса. При этом:

$$\omega_0^{\text{НЛ}} = 100; \quad \lg(\omega_0^{\text{НЛ}}) = \lg 100 = 2; \quad T_0^{\text{НЛ}} = 10^{-2}$$

$$\omega_1^{\text{НЛ}} = 3333,3; \quad \lg(\omega_1^{\text{НЛ}}) = \lg 3333,3 = 3,523; \quad T_1^{\text{НЛ}} = 3 * 10^{-4}$$

$$W_{\text{му}}^{\text{НЛ}}(S) = 2000 * (16,32S + 1)(4,93 * 10^{-6} S^2 + 8,88 * 10^{-4} S + 1) \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(4,81 * 10^{-7} S^2 + 2,774 * 10^{-4} S + 1)(2,19 * 10^{-4} S + 1)(3 * 10^{-4} S + 1)}{(10^{-10} S^2 + 2 * 10^{-5} S + 1)}$$

Переходный процесс ЦМ СЛПР с $W_{\text{му}}^{\text{НЛ}}$ показан на рис.16. Колебания стабилизированы, процесс - быстросгужающий, но величина перерегулирования $\sigma > \sigma$, и время T_p - пока еще велики. Требуется дальнейшее совершенствование.

Третий этап совершенствования коррекции нелинейной ЦМ. Для уменьшений T_p и σ увеличим демпфирование в области высоких частот. Увеличим коэффициенты демпфирования в двух форсирующих колебательных звеньях.

Величину демпфирования подбираем экспериментально.

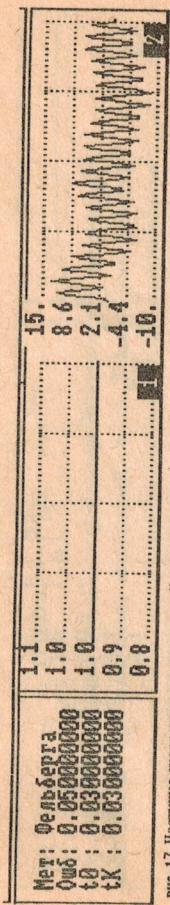


рис.17 Частично скорректированная нелинейная система. Начальный этап коррекции: используется ПКУ, разработанное для линейной системы. График переходного процесса.

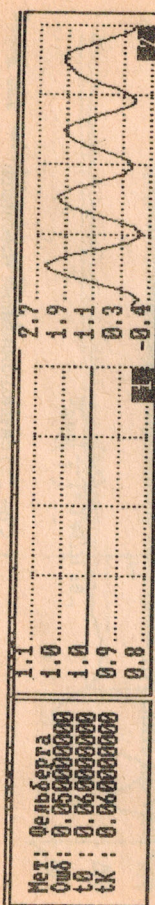


рис.18 Частично скорректированная нелинейная система. Первый этап коррекции: верхняя граница среднечастотного звена (ω_0) перенесена вправо. График переходного процесса.



рис.19 Частично скорректированная нелинейная система. Второй этап коррекции: добавлено НЧ аperiodическое звено + НЧ форсирующее звено I порядка. График переходного процесса.

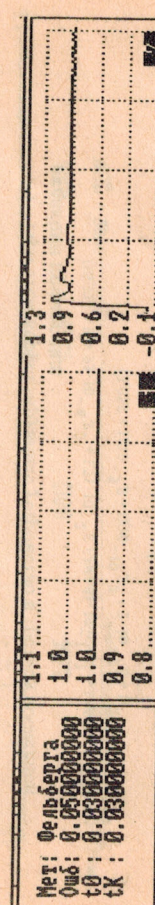


рис.20 Частично скорректированная нелинейная система. Третий этап коррекции: увеличен коэффициент демпфирования ($\xi_2 = 5$). График переходного процесса.

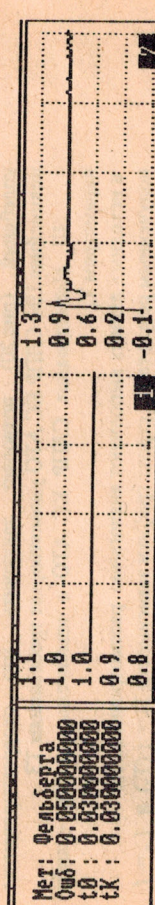


рис.21 Частично скорректированная нелинейная система. Четвертый этап коррекции: увеличен коэффициент демпфирования ($\xi_3 = 0,5$). График переходного процесса.

$$\xi_{2}^{\text{нл}} = 5; \quad 2\xi_{2}^{\text{нл}} \left(\frac{1}{\omega_2} \right) = 0,0111$$

Посмотрим - переходный процесс (рис.17). Его анализ показывает, что уменьшилось время T_n и σ . Дальнейшее увеличение $\xi_{2}^{\text{нл}}$ может быть неэффективно.

Для дальнейшего уменьшения повысим демпфирование в следующем еще более высокочастотном форсирующем звене. Значения $\xi_3^{\text{нл}}$ также подбираем экспериментально ($\xi_3^{\text{нл}} = 0,5$)

$$2\xi_{3}^{\text{нл}} \left(\frac{1}{\omega_3} \right) = 3,46771 \cdot 10^{-4}$$

Иследуем вновь скорректированную нелинейную ЦМ СЛПР КС АТО в режимах собственных колебаний. Кривая переходного процесса (рис.18) показывает, что T_n уменьшилось значительно, а δ - еще пока велико.

Дальнейшее увеличение $\xi_3^{\text{нл}}$ - не эффективно, т.к. приводит к дальнейшему увеличению σ .

Дальнейшее улучшение качества нелинейной ЦМ СЛПР возможно путем более точного определения $\omega_0^{\text{нл}}$, $\omega_1^{\text{нл}}$, $T_0^{\text{нл}}$ и $T_1^{\text{нл}}$ экспериментальным способом:

$$\omega_0^{\text{нл}} = 83,3; \quad \lg(\omega_0^{\text{нл}}) = \lg 83,3 = 1,921; \quad T_0^{\text{нл}} = 1,2 \cdot 10^{-2}$$

$$\omega_1^{\text{нл}} = 1333,3; \quad \lg(\omega_1^{\text{нл}}) = \lg 1333,3 = 3,125; \quad T_1^{\text{нл}} = 7,5 \cdot 10^{-4}$$

При этом скорректирующее устройство в третьей последней редакции примет вид:

$$W_{\text{кор}} = 2000 \frac{(16,328 + 1)(4,93 \cdot 10^{-6} S^2 + 1,71 \cdot 10^{-2} S + 1)(4,81 \cdot 10^{-7} S^2 + 3,46771 \cdot 10^{-4} S + 1)}{(3,03S + 1)(10^{-5} S^2 + 2 \cdot 10^{-5} S + 1)^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(2,19 \cdot 10^{-4} S + 1)(7,5 \cdot 10^{-4} S + 1)}{(1,2 \cdot 10^{-2} S + 1)}$$

Полученный при этом переходный процесс (рис.17) и вид вынужденных колебаний (рис.20) позволяет заключить, что скорректированная нелинейная ЦМ СЛПР КС АТО удовлетворяет требованиям ТЗ.

III. Исследования СЛПР КС АТО с изменяемым каким - либо параметром T_n

в исходных данных выполняются аналогично рассмотренным. По полученным результатам строят графики зависимости $T_n = f(T_v)$ и $\{\sigma_n = f(T_v)\}$.



рис.22 Полностью скорректированная нелинейная система. Окончательный вариант коррекции. Более точно подобраны постоянные времени. График переходного процесса.

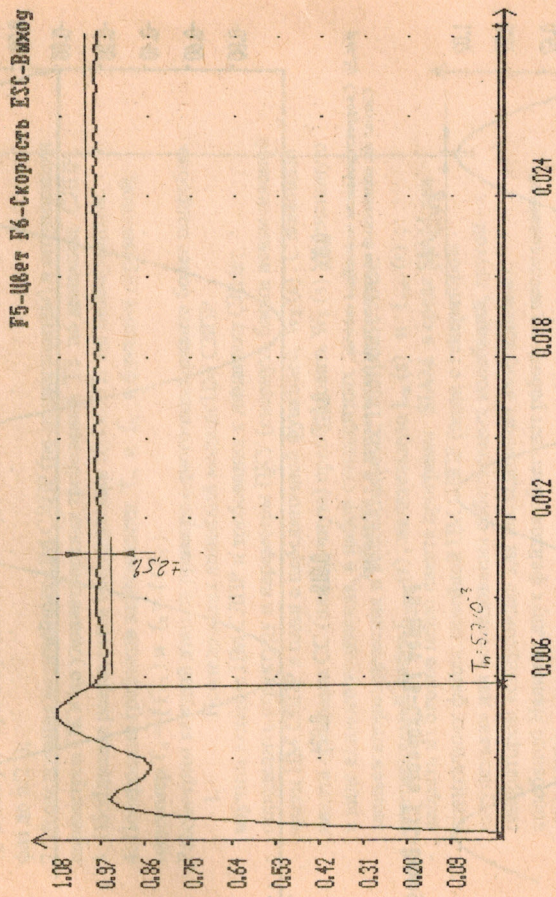


рис.23 Скорректированная нелинейная система. График переходного процесса.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Методика эксперимента основана на результатах домашнего задания «Исследование СЛПР КС сборочного АТО и ПР с ЧПУ» и включает три этапа: 1. Исследования линейных ЦМ СЛПР (по подвариантам: три значения переменной, например T_x , составляет три подварианта) и оптимизация параметров последовательного корректирующего устройства ПКУ с целью удовлетворения требований ТЗ по динамике СЛПР ($T_n = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, $\sigma = 5 \dots 8 \%$, $K_v \geq 2000 \text{ с}^{-1}$; $f_n \geq 600 \text{ р/с}$ при затухании амплитуды входного сигнала до 0,707 и сдвиге фаз до $\pi/2$);

2. Исследования нелинейных ЦМ СЛПР (по подвариантам) и оптимизация параметров ПКУ до удовлетворения требований ТЗ по динамике СЛПР; 3. Обобщение результатов исследования ЦМ СЛПР по подвариантам. 4. Построение графиков зависимости T_n и f_n в функции переменной, например $T_n = f(T_x)$ и $f_n = f(T_x)$. Рассмотрим каждый этап на примере одного подварианта более подробно.

- Исследования линейной модели ЦМ СЛПР
 - изучить задание ЦМ СЛПР и требования к динамике СЛПР; определить структуру и параметры ПКУ (свернуть блоки неизменяемой части ЦМ СЛПР в один с передаточной функцией $W_2(s)$). С помощью пакета программ СС (или вручную) преобразовать $W_2(s)$, записанную в виде единого уравнения, в набор стандартных звеньев: аperiodических и колебательных. Построить ЛАХ; неизменяемой части $L_{\text{нзм}}(s)$, желательную $L_{\text{жк}}(s)$ и $L_{\text{нзм}}(s)$; набрать из блоков меню пакета программ SIAM в среде SIM для идентичных файла линейной ЦМ СЛПР (один с генератором «ступенька» для исследования собственных колебаний, другой – с генератором «синусоида» для исследования вынужденных колебаний. Наличие двух файлов облегчает работу по исследованию ЦМ СЛПР;
 - установить в их блоках значения коэффициентов и постоянных времени согласно заданию;
 - исследовать линейную ЦМ СЛПР в режиме собственных и вынужденных колебаний;
 - выполнить анализ кривых переходного процесса и синусоид;
 - изменяя параметры ПКУ получить T_n , σ , K_v и f_n , соответствующие ТЗ;
- Исследования нелинейной ЦМ СЛПР
 - создать два идентичных файла нелинейной ЦМ СЛПР с генераторами «ступенька» и «синусоида»; воспользоваться для этого $W_{\text{ПКУ}}$ линейной модели, блоками неизменяемой части ЦМ СЛПР и блоками нелинейностей; собрать их согласно рис. 1а.
 - установить в них значения коэффициентов и постоянных времени согласно заданию

Р5-цвет F6-Скорость ESC-Выход

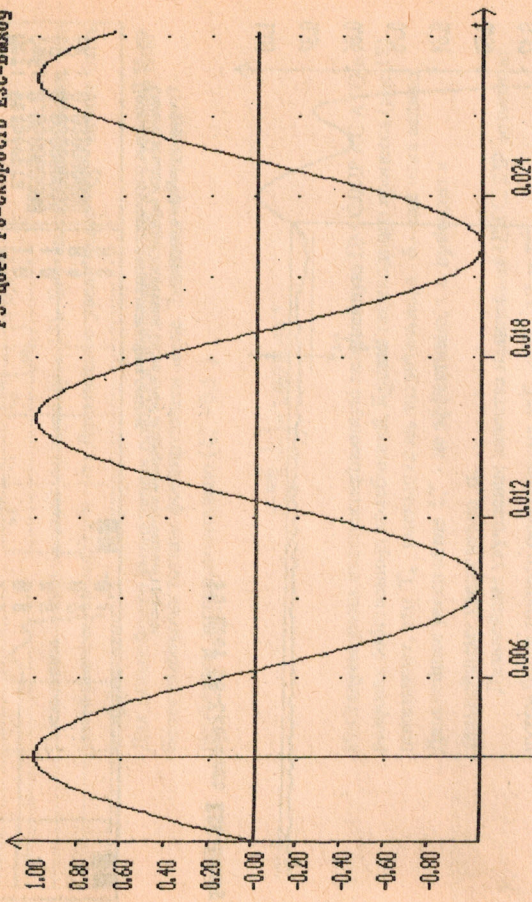


рис-24 Скорректированная нелинейная система. Сигнал sin, подаваемый на вход системы (малая частота: $\omega = 500 \text{ рад/сек}$).

Р5-цвет F6-Скорость ESC-Выход

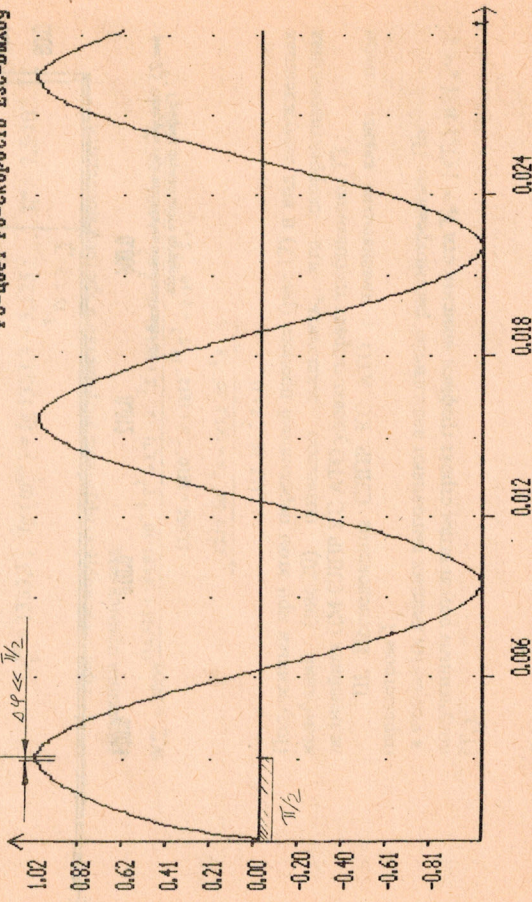


рис-25 Скорректированная нелинейная система. Отклик системы на сигнал sin (малая частота: $\omega = 500 \text{ рад/сек}$)

- исследовать нелинейную ЦМ СЛПР в режиме собственных и вынужденных колебаний;
- выполнить анализ кривых переходного процесса и синусоид;
- изменяя параметры, а иногда и структуру ПКУ, получить T_n, σ, K_v и f_n , соответствующие ТЗ или близкие им;
- получить распечатки на принтере кривых переходного процесса и синусоид окончательно скорректированной нелинейной ЦМ СЛПР, записать в отчет $W_{ПКУ}$.

3. Проанализировать распечатки кривых переходного процесса и синусоид окончательно скорректированной нелинейной ЦМ СЛПР, определить по ним значения T_n (время, при котором кривая впервые входит в трубку $\pm 2,5\%$ от установившегося значения), T_n, σ, K_v для трех подвариантов.

- записать их значения в таблицу и построить по ним графики $T_n=f$ (изменяемого параметра) и $f_n=f$ (изменяемого параметра).

Подробные процедуры набора, запуска, редакции, вывода на экран и принтер результатов (кривых переходного процесса и синусоид) на ПЭВМ в среде , здесь не расписывается, т.к. студенты выполняли аналогичные работы по курсу УТС на 7 семестре.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

по СЛПР КС сборочных АГО и ПР с ЧПУ производства ЭА

1. Какие вы знаете типы СЛПР по виду кинематической связи вала двигателя со столом (траверсой)?
2. Какие вы знаете типы СЛПР по виду двигателя и виду силовой энергии?
3. Назовите усилители мощности (усилители-преобразователи), применяемые в электрических постоянном, переменного тока и электротехнических СЛПР.
4. Какие датчики обратной связи применяются в СЛПР?
5. Какие корректирующие устройства применяют в СЛПР для улучшения их динамики?
6. Какие показатели характеризуют динамику СЛПР?
7. Какие режимы используют для исследования динамики СЛПР?
8. Какие сигналы на входе и выходе СЛПР имеют место при собственных колебаниях выходного вала СЛПР?
9. Какие сигналы на входе и выходе СЛПР имеют место при вынужденных колебаниях выходного вала СЛПР?
10. Как убрать высокочастотную модуляцию в выходном сигнале СЛПР?
11. Как убрать низкочастотные колебания в выходном сигнале СЛПР?
12. Как повысить стабильность работы СЛПР?

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю.В., Лакота Н.А. Гибкая автоматизация производства с применением микропроцессоров и промышленных роботов. М. Радио и связь 1987, 464 с.
2. Малов А.Н., Иванов Ю.В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов. М. Машиностроение 1974, 368 с.
3. Иванов Ю.В. Автоматизация сборки в условиях гибкого производства. М. ВНИИТЭМР. Серия 6, выпуск 2, 1988, 42 с.
4. Михайлов О.И. Автоматизированный эл. привод станков и ПР. М. Машиностроение 1990, 304 с.
5. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Управление техническими системами. М. Машиностроение, 250 с.
6. Техническая кибернетика (в 4-х томах). Под редакцией Солодовникова. М. Машиностроение 1991, 250 с.
7. Справочник по автоматизированному эл. приводу. Под ред. Елисева В.А. и Шинянского А.В. М. Энергоиздат 1983, 616 с.
8. Гидравлический следящий привод. под ред. Лещенко В.А. М. Машиностроение 1968.
9. Фаронов В.В. Система автоматизированного моделирования СИАМ. М. МГТУ 1989, 30 с.
10. Фигурнов В.Э. ИВМРС для пользователя. М. Финансы, 1990, 240 с.