

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В.Б.ФАТЕЕВ

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Учебное пособие к лабораторным работам по курсу
«Теория автоматического управления»**

Рекомендовано Ученым советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования

Оренбург 2003

ББК 32.965
Ф - 27
УДК 62-52(07)

Рецензенты:

кандидат технических наук В.Н.Евсюков
кандидат технических наук Е.Н. Патлахов

Ф-27 В.Б. Фатеев
Теория автоматического управления: Учебное пособие к лабораторным работам. - Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. - 48 с.

ISBN 5-7410-0364-8

Учебное пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по курсу «Теория автоматического управления» для студентов электроэнергетических специальностей.

Пособие рекомендовано научно-методическим советом по специальности 181300 - «Внутризаводское электрооборудование» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений электроэнергетических специальностей.

Ф $\frac{240201000}{6Л9-03}$

ББК 32.965

ISBN 5-7410-0364-8

© В.Б. Фатеев, 2003
© РИК ГОУ ОГУ, 2003

Содержание

Введение.....	4
1. Лабораторная работа 1 Типовые динамические звенья.....	7
2. Лабораторная работа 2 Последовательное соединение звеньев.....	16
3. Лабораторная работа 3 Параллельное соединение звеньев.....	23
4. Лабораторная работа 4 Последовательная коррекция.....	32
5. Лабораторная работа 5 Параллельная коррекция.....	40
6. Список использованных источников.....	48

Введение

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов, изучающих курс "Теория автоматического управления".

Лабораторные работы, приведенные в учебном пособии, посвящены экспериментальному исследованию линейных систем автоматического управления (САУ).

Целями лабораторных работ являются:

- освоение методов экспериментального определения частотных характеристик и переходных процессов для различных цепей и способов их соединения;

- использование методов расчета для получения заданных показателей качества систем и их экспериментальной проверки;

- развитие навыков анализа и синтеза САУ.

Лабораторные работы выполняются бригадой из 2-3 человек. Перед выполнением лабораторных работ студенты должны ознакомиться с целью лабораторной работы, порядком выполнения, подготовить таблицы, провести необходимые расчеты.

После ознакомления со стендом, необходимо собрать схему исследования и представить её для проверки преподавателем. Получив разрешение, на стенд подается напряжение и проводятся экспериментальные исследования в соответствии с порядком выполнения лабораторной работы. В процессе работы и по её окончании студенты обязаны представить преподавателю полученные результаты эксперимента, после чего стенд выключается и схема разбирается.

При выполнении лабораторных работ студенты должны соблюдать правила техники безопасности и эксплуатации:

1. Перед сборкой схемы необходимо убедиться в отсутствии напряжения на стенде. Напряжение на стенд включается посредством тумблера, установленного на приборном щите.

2. Включать стенд можно только с разрешения руководителя лабораторных работ.

3. При обнаружении неисправностей в стенде необходимо выключить стенд и сообщить руководителю.

Отчет по лабораторной работе оформляется в специальном журнале, на листах в клеточку или в тетради. В отчете должны быть представлены:

- 1) Название лабораторной работы и ее номер.
- 2) Фамилия, имя, отчество студента, факультет, группа.
- 3) Цель работы.
- 4) Схемы экспериментальных исследований.

5) Таблицы экспериментальных данных и результаты расчетов.

6) Графики экспериментальных и расчетных зависимостей.

7) Осциллограммы переходных процессов.

8) Расчетные формулы.

9) Выводы по работе.

На графиках указываются экспериментальные и расчетные точки, по которым производились построения, а также параметры при которых производились исследования.

На осциллограммах должны быть указаны развертки (масштабы) по времени и напряжению, параметры схемы, показаны основные показатели переходных процессов.

Выводы по работе содержат анализ полученных результатов экспериментальных и теоретических исследований.

Лабораторные работы выполняются на лабораторных стендах, каждый из которых имеет следующие основные узлы:

- а) панель типовых динамических звеньев;
- б) блок измерительных приборов;
- в) генератор синусоидальных сигналов;
- г) генератор ступенчатого сигнала;
- д) фазометр;
- е) осциллограф.

Каждое звено воспроизводится с помощью интегральных операционных усилителей, охваченных обратными связями. Параметры звеньев изменяются с помощью переключателей и тумблеров, расположенных на панели против варьируемых параметров.

Для необходимости инвертирования фазы выходного напряжения звенья снабжены тумблером "±".

Для измерения напряжений стенд имеет два мультиметра, с помощью которых производится измерение входного и выходного напряжений.

Для визуального наблюдения за поведением системы регулирования стенд снабжен осциллографом.

Для снятия амплитудно-фазовых частотных характеристик в стенд встроены генератор синусоидальных сигналов, который позволяет изменять амплитуду и частоту сигналов. Амплитуда изменяется от нуля до 1 В, частота изменяется дискретно от 20 Гц до 200 кГц. Стенд включается тумблером, расположенном на передней панели блока.

Измерение сдвига фаз между входным и выходным напряжением осуществляется фазометром. Вход "1" подключается к входной клемме звена (системы), вход "2" - к выходной клемме звена или системы. Фа-

зомер позволяет измерять сдвиг фазы в пределах $+90^\circ - -270^\circ$ при минимальных уровнях напряжения 10 мВ. Лабораторные работы по ТАУ предполагают экспериментальное определение основных характеристик систем автоматического управления:

- амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ);
- переходной функции.

Для снятия АФЧХ необходимо на вход системы (или звена) подключить напряжение от генератора синусоидальных сигналов (ГСС), действующее значение которого измеряется с помощью цифрового мультиметра PV1. Значение входного напряжения выставляется посредством потенциометра "выход", расположенного на передней панели генератора, частота изменяется с помощью переключателей "частота Hz" и "множитель".

Выходное напряжение измеряется посредством цифрового мультиметра PV2. Форма входного и выходного напряжения контролируется осциллографом "N".

Между входом и выходом исследуемой системы включается фазометр, измеряющий сдвиг фаз этих напряжений. Изменяя частоту входного сигнала, измеряются значения входного и выходного напряжения и сдвиг фаз.

Для снятия переходной функции исследуемой системы на вход системы подается ступенчатый сигнал. С помощью осциллографа, подключенного на вход и потенциометра "амплитуда" выставить на входе ступенчатый сигнал определенного уровня (чаще всего 1 В). Переключив осциллограф на выход, с помощью ручки "частота" для ступенчатого сигнала и ручек управления осциллографом, добиться качественного воспроизведения переходной функции и зарисовывают.

По переходной функции определяют основные показатели качества переходного процесса:

- а) начальное значение выходной координаты h_0 (при $t = 0$);
- б) установившееся значение, т.е. значение выходной координаты после окончания переходного процесса h_∞ ;
- в) время переходного процесса t_p ;
- г) максимальное значение выходной координаты h_{\max} ;
- д) перерегулирование σ_m

$$\sigma_m = \frac{h_{\max} - h_\infty}{h_\infty} \cdot 100\%$$

1 Лабораторная работа 1

Типовые динамические звенья

1.1 Цель работы

Экспериментальное исследование свойств типовых динамических звеньев

1.2 Общие сведения

Типовым динамическим звеном называется элемент системы автоматического управления, который описывается линейным дифференциальным уравнением не выше второго порядка.

К типовым динамическим звеньям относятся:

- усилительное (безынерционное, пропорциональное),
- интегрирующее,
- дифференцирующее,
- апериодическое (инерционное),
- форсирующее,
- колебательное,
- запаздывающее.

Для исследования систем автоматического управления (САУ) используются следующие основные характеристики:

- дифференциальное уравнение,
- передаточная функция,
- переходная функция,
- амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧХ) или комплексная передаточная функция (КПФ),
- логарифмическая амплитудно-фазочастотная характеристика (ЛАФЧХ),
- импульсная функция.

Передаточной функцией $W(P)$ называется отношение изображения выходной координаты $Y(P)$ по Лапласу к изображению входной координаты $X(P)$ при нулевых начальных условиях

$$W(P) = \frac{Y(P)}{X(P)} \quad (1.1)$$

Переходной функцией $h(t)$ называется зависимость выходной координаты

ты от времени (переходной процесс) при единичном ступенчатом воздействии на входе системы.

$$h(t) = L^{-1} [W(P) * X(P)] = L^{-1} \left[\frac{W(P)}{P} \right], \quad (1.2)$$

где L^{-1} - обратное преобразование Лапласа,

$$X(P) = \frac{1}{P} - \text{изображение единичного воздействия } x(t)$$

$$X(t) = 1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t \geq 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

Переходной процесс, возникающий в САУ при действии единичного импульса $\delta(t)$, называется импульсной функцией $h(t)$.

Отношение гармонического синусоидального сигнала на выходе САУ в установившемся режиме к гармоническому сигналу на входе называют комплексной передаточной функцией (КПФ) или амплитудно- фазочастотной характеристикой (АФЧХ) ($W(j\omega)$).

$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = W(P) \Big|_{P=j\omega} = A(\omega) * e^{j\varphi(\omega)} = P(\omega) + j Q(\omega), \quad (1.4)$$

где ω - частота гармонического сигнала,

$A(\omega)$ - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ),

$\varphi(\omega)$ - фазочастотная характеристика (ФЧХ),

$P(\omega)$ - вещественная частотная характеристика (ВЧХ),

$Q(\omega)$ - мнимая частотная характеристика (МЧХ).

Логарифмической амплитудно-фазочастотной характеристикой (ЛАФЧХ) называют зависимости:

- логарифмическая амплитудно- частотная характеристика (ЛАЧХ) $L(\omega)$

$$L(\omega) = 20 * \lg A(\omega) = f(\lg \omega), \quad (1.5)$$

- логарифмическая фазо-частотная характеристика (ЛФЧХ) $\varphi(\omega)$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} = f(\lg \omega), \quad (1.6)$$

При построении ЛАФЧХ по оси ординат откладывают значения ЛАЧХ в децибелах, фазу в градусах (радианах), по оси абсцисс- частоту в логарифмическом масштабе.

В таблицах 1.1 и 1.2 приведены основные характеристики типовых динамических звеньев.

1.3 Порядок выполнения

1.3.1 Собрать схему экспериментального исследования типового звена (рис. 1.1). На вход схемы подать напряжение от генератора синусоидальных сигналов.

1.3.2 С помощью переключателей выставить параметры звеньев своего варианта (таблица 1.3).

1.3.3 После проверки схемы преподавателем включить стенд.

1.3.4 Потенциометром генератора синусоидальных сигналов установить напряжение на входе 1 В при частоте 20 Гц. С помощью осциллографа N необходимо убедиться, что форма кривых входного и выходного напряжений являются синусоидальными. Если кривая выходного напряжения отличается от синусоиды следует изменить уровень входного напряжения.

1.3.5 Изменяя частоту синусоидального напряжения с помощью переключателей " частота " и " множитель " генератора снять амплитудно - фазочастотную характеристику. Экспериментальные данные свести в таблицу 1.4.

1.3.6 Выключить стенд.

1.3.7 Вместо генератора на вход схемы подать ступенчатый сигнал.

1.3.8 После проверки схемы преподавателем включить стенд.

1.3.9 Подключить осциллограф N на вход. С помощью потенциометров амплитуда " и " частота " установить на входе ступенчатое напряжение 1 В.

1.3.10 Переключить осциллограф N на выход и посредством по -

Таблица 1.1

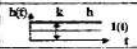

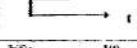
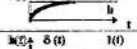
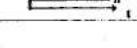
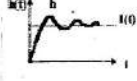
Наименование звена	Дифференциальное уравнение	Передаточная функция	Переходная характеристика	
			Уравнение	График
1. Усилительное	$y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = k$	$h(t) = k \cdot I(t)$	
2. Интегрирующее	$y(t) = \int x(t) dt$	$W(p) = 1/p$	$h(t) = t$	
3. Дифференцирующее	$y(t) = dx(t)/dt$	$W(p) = p$	$h(t) = I(t) + h(0)$	
4. Апериодическое	$y(t) = T dx(t)/dt + x(t)$	$W(p) = \frac{1}{Tp+1}$	$h(t) = 1 - e^{-t/T}$	
5. Формирующее	$T dy(t)/dt + y(t) = x(t)$	$W(p) = Tp+1$	$h(t) = I(t) + B(t)$	
6. Колебательное	$y(t) = T^2 d^2x/dt^2 + 2\xi T dx/dt + x$	$W(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$	$h(t) = 1 - \frac{e^{-\alpha t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin(\omega \sqrt{1-\xi^2} t + \varphi)$ $\alpha = \xi / T, \omega = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$ $\varphi = \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$	

Таблица 1.2

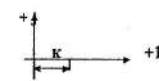
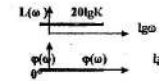
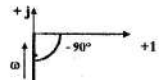
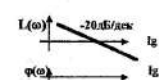
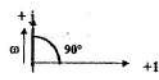
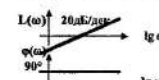
Наименование звена	АФЧХ (КНФ)		ЛАФЧХ	
	Уравнение	График	Уравнение	График
1. Усилительное	$W(j\omega) = K e^{-j0^\circ}$ $A(\omega) = K$ $\varphi(\omega) = 0^\circ$		$L(\omega) = 20 \lg K$ $\varphi(\omega) = 0^\circ$	
2. Интегрирующее	$W(j\omega) = \frac{1}{\omega} e^{-j90^\circ}$ $A(\omega) = 1/\omega$ $\varphi(\omega) = -90^\circ$		$L(\omega) = -20 \lg \omega$ $\varphi(\omega) = -90^\circ$	
3. Дифференцирующее	$W(j\omega) = \omega e^{j90^\circ}$ $A(\omega) = \omega$ $\varphi(\omega) = 90^\circ$		$L(\omega) = 20 \lg \omega$ $\varphi(\omega) = 90^\circ$	

Таблица 1.2

Наименование звена	АФЧХ (КПФ)		ЛАФЧХ	
	Уравнение	График	Уравнение	График
4. Аперiodическое	$W(j\omega) = \frac{1}{1 + jT\omega}$ $A(\omega) = 1/\sqrt{1 + T^2\omega^2}$ $\varphi(\omega) = -\arctg T\omega$		$L(\omega) = -20 \lg\sqrt{1 + T^2\omega^2}$ $\varphi(\omega) = -\arctg T\omega$	
5. Форсирующее	$W(j\omega) = 1 + jT\omega$ $A(\omega) = \sqrt{1 + T^2\omega^2}$ $\varphi(\omega) = \arctg T\omega$		$L(\omega) = 20 \lg\sqrt{1 + T^2\omega^2}$ $\varphi(\omega) = \arctg T\omega$	
6. Колебательное	$W(j\omega) = 1/(1 - T^2\omega^2 + j2\xi T\omega)$ $A(\omega) = 1/\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}$ $\varphi(\omega) = -\arctg[2\xi T\omega / (1 - T^2\omega^2)]$		$L(\omega) = 20 \lg\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}$ $\varphi(\omega) = -\arctg(2\xi T\omega / (1 - T^2\omega^2))$	

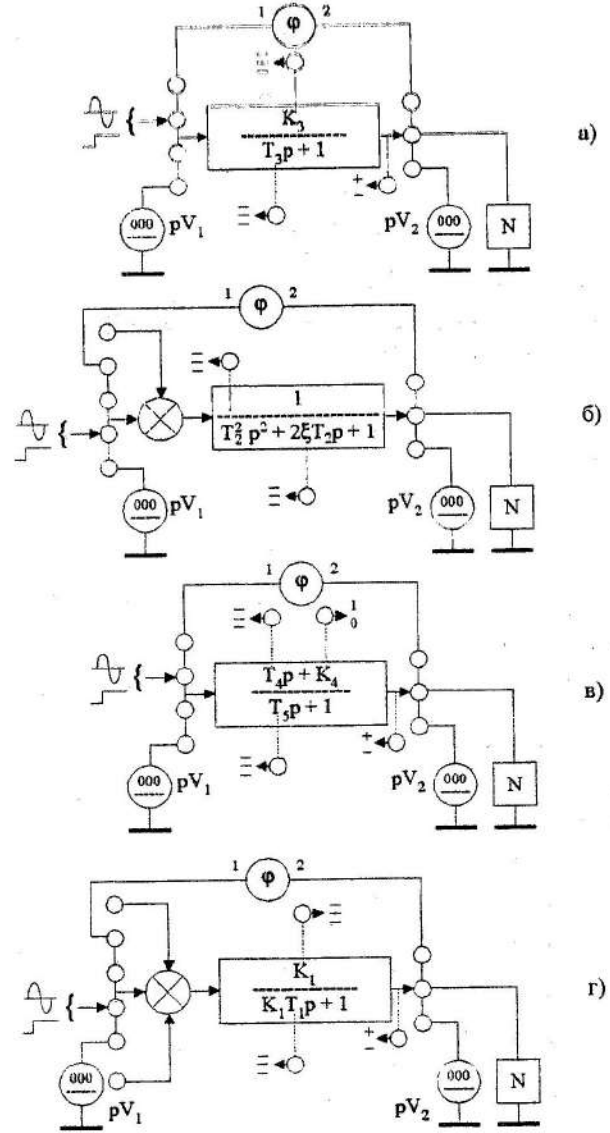


рисунок 1.1

Таблица 1.3

Стенд	Звено 1		Звено 2		Звено 3		Звено 4		
	K1	T1, мс	T2, мс	ξ	K3	T3, мс	T4, мс	T5, мс	K4
1	1	4.4	4	.25	3	1.5	3	6	1
	3	1.5	1	.25	2	5	5	5	0
	1	1.5	1	.1	3	1	6	3	1
2	2.5	2.2	2	.15	2	2	5	3	1
	1	2.2	2	.25	5	2	3	5	1
	2.5	7.3	5	.3	2	5	6	6	0
3	5	4.4	4	.2	1	5	1	4	1
	2.5	1.1	2	.25	5	1	4	1	1
	5	1.1	2	.1	5	5	1	1	0
4	1	2.2	4	.15	4	5	6	3	1
	5	2.2	1	.2	1	5	3	6	1
	3	1.1	1	.3	4	1	3	3	0
5	3	7.3	3	.3	4	5	4	6	1
	1	7.3	3	.2	1	1	6	4	1
	3	1.1	1	.3	4	2	4	4	0

Таблица 1.4

Параметры										
f, Гц	20	30	40	50	60	80	100	120	160	200
U1, В										
U2, В										
$\varphi, ^\circ$										
$\omega, c-1$										
lg(ω)										
A(ω)										
L(ω)										
P(ω)										

тенциометра "частота", органов управления осциллографом добиться качественного воспроизведения переходного процесса на экране осциллографа.

1.3.11 Зарисовать переходной процесс на кальку или координатную бумагу. Записать развертки (масштабы) осциллографа по времени и напряжению.

1.3.12 Повторить п.п. 1.3.1 - 1.3.11 для других параметров звена.

1.3.13 По осциллограмме определить основные показатели качества переходного процесса.

1.3.14 По данным таблицы 1.4 рассчитать и построить ЛАФЧХ.

1.3.15 Провести анализ полученных результатов.

1.3.16 Сделать выводы по работе. Оформить отчет.

2 Лабораторная работа 2

Последовательное соединение звеньев

2.1 Цель работы

Экспериментальное исследование свойств последовательно соединенных звеньев.

2.2 Общие сведения

Любую сложную систему автоматического управления можно представить в виде эквивалентной системы, состоящей из последовательно соединенных звеньев.

На рис 2.1 приведена структурная схема из трех последовательно соединенных звеньев.

Эквивалентная передаточная функция системы, состоящая из "n" последовательно соединенных звеньев, имеет следующий вид:

$$W_{\Sigma}(P) = W_1(P) * W_2(P) * \dots * W_n(P). \quad (2.1)$$

Амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧХ) и логарифмические амплитудно-фазочастотные характеристики (ЛАФЧХ) представляются в виде:

$$\begin{aligned} W_{\Sigma}(j\omega) &= A_1(\omega) e^{j\varphi_1(\omega)} * A_2(\omega) e^{j\varphi_2(\omega)} * \dots * A_n(\omega) e^{j\varphi_n(\omega)} = \\ &= \prod_{i=1}^n A_i(\omega) e^{j\sum \varphi_i(\omega)} = A_{\Sigma}(\omega) e^{j\varphi_{\Sigma}(\omega)}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где $A_{\Sigma}(\omega)$ - эквивалентная амплитудно-частотная характеристика

$$A_{\Sigma}(\omega) = \prod_{i=1}^n A_i(\omega),$$

$\varphi_{\Sigma}(\omega) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega)$ - эквивалентная фазочастотная характеристика.

$$L_{\Sigma}(\omega) = 20 * \lg A_{\Sigma}(\omega) = 20 * \lg A_1(\omega) + 20 * \lg A_2(\omega) + \dots + 20 * \lg A_n(\omega), \quad (2.3)$$

$$\varphi_{\Sigma}(\omega) = \varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \dots + \varphi_n(\omega). \quad (2.4)$$

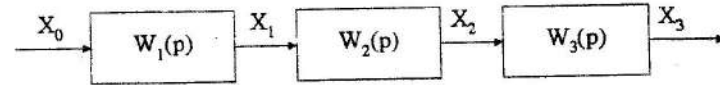


рисунок 2.1

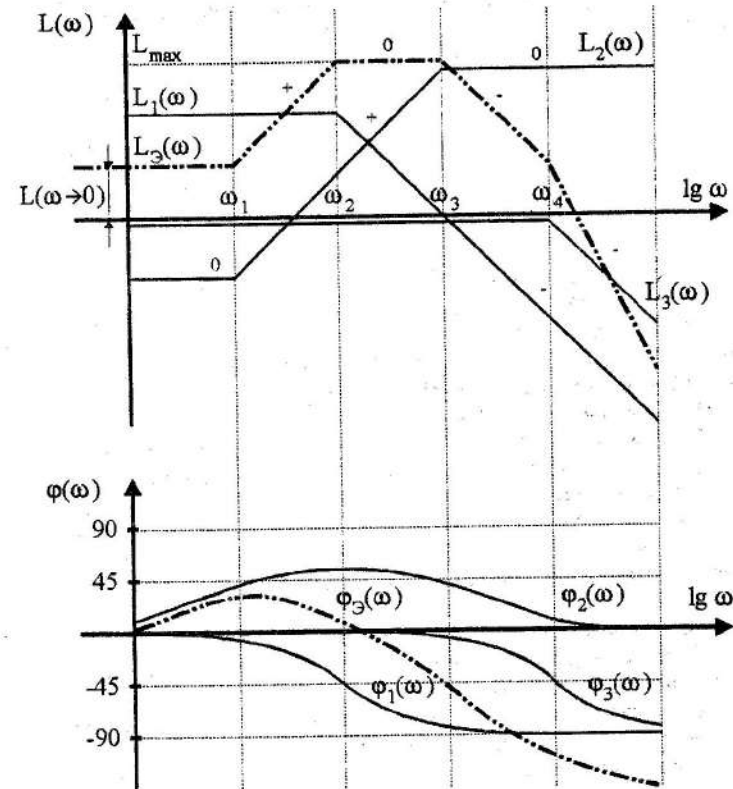


рисунок 2.2

Оценка реакции системы при ступенчатом входном воздействии сопряжена, как правило, с громоздкими вычислениями. Поэтому очень важно уметь оценивать качество переходного процесса по виду логарифмических амплитудно-фазочастотных характеристик, которые строятся чаще всего асимптотическим (аппроксимированным) способом / 1,2,3 /.

Из уравнений (2.3) и (2.4) следует, что логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) эквивалентной системы равна сумме ЛАЧХ отдельных звеньев. Сумма физический характеристик (ЛФЧХ) является эквивалентной ЛФЧХ системы. По виду логарифмической амплитудной характеристики системы можно оценить основные параметры качества переходного процесса.

Например, если эквивалентная ЛАФЧХ имеет вид, как показано на рисунке 2.2, то оценка переходного процесса (рис.2.3) производится следующим образом.

1. Установившееся значение выходной координаты h_{∞} определяется ординатой ЛАЧХ при нулевой частоте.

2. Переходной процесс протекает без перерегулирования, если ординаты ЛАЧХ на всех частотах не превышают ординаты ЛАЧХ при нулевой частоте.

3. Максимум ЛАЧХ на любой частоте (L_{\max}), кроме нулевой, свидетельствует о том, что процесс протекает с перерегулированием. Максимальное превышение выходной координаты h_{\max} приблизительно равно входному сигналу, умноженному на максимальное значение коэффициента усиления амплитуды при этой частоте.

4. Переходной процесс до достижения максимума протекает приблизительно по экспоненте с постоянной времени T_3 , определяемой частотой ω_3 , при которой происходит изменение наклона ЛАЧХ с отрицательного на нулевой со стороны высоких частот.

5. Переходной процесс после достижения максимума изменяется также по экспоненте с постоянной времени T_2 , определяемой частотой ω_2 , при которой происходит изменение наклона ЛАЧХ с нулевого на положительный в области средних частот.

На рисунке 2.3 представлена ориентировочная картина переходного процесса, построенная из анализа ЛАФЧХ рисунка 2.2, из которого можно сделать следующие выводы:

а) установившееся значение при единичном ступенчатом воздействии равно K , соответствующее ЛАЧХ при $\omega \rightarrow 0$ ($L(\omega \rightarrow 0)$);

б) процесс регулирования протекает с перерегулированием, величина перерегулирования пропорциональна L_{\max} ;

в) до достижения максимума переходной процесс протекает по экс-

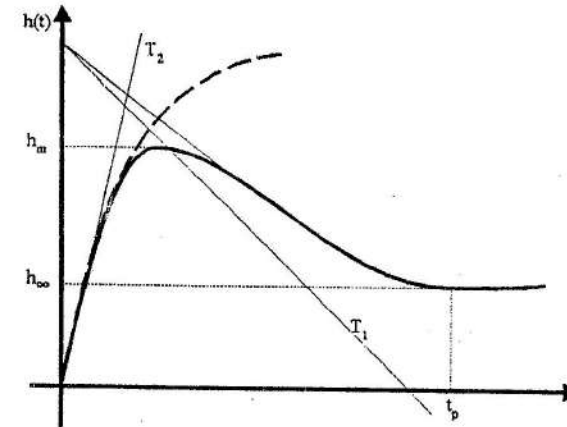


рисунок 2.3

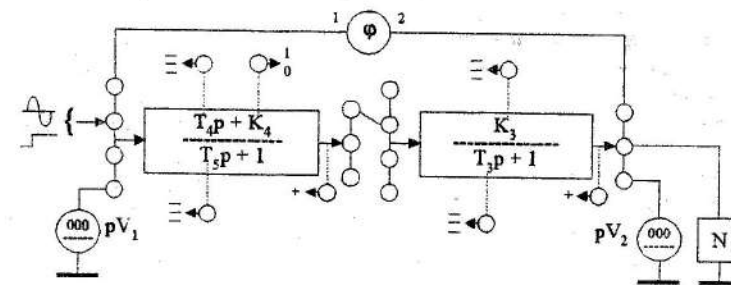


рисунок 2.4

полюсе с постоянной времени

$$T3 = \frac{1}{\omega3}, \quad (2.5)$$

г) после достижения максимума переходной процесс также изменяется по экспоненте с постоянной времени

$$T2 = \frac{1}{\omega2}. \quad (2.6)$$

д) время переходного процесса ориентировочно равно

$$t_p = (3 \div 5) * T2 + T3. \quad (2.7)$$

2.3 Порядок выполнения

2.3.1 Собрать схему экспериментального исследования последовательно соединенных звеньев (рис 2.4). На вход схемы подать напряжение от генератора синусоидальных сигналов.

2.3.2 С помощью переключателей выставить параметры звеньев своего варианта (таблица 2.1).

2.3.3 После проверки схемы преподавателем включить стенд.

2.3.4 Потенциометром генератора синусоидальных сигналов установить напряжение 1 В при частоте 20 Гц. С помощью осциллографа необходимо убедиться, что форма кривых входного и выходного напряжений являются синусоидальными. Если кривая выходного напряжения отличается от синусоиды, следует изменить уровень входного напряжения.

2.3.5 Изменяя частоту синусоидального напряжения с помощью переключателей " частота " и " множитель " генератора, снять амплитудно-фазо-частотную характеристику. Экспериментальные данные свести в таблицу 2.2.

2.3.6 Выключить стенд.

2.3.7 Вместо генератора на вход схемы подать ступенчатый сигнал (рис 2.3). После проверки схемы преподавателем, включить стенд.

2.3.8 Подключить осциллограф N на вход. С помощью потенциометров " амплитуда " и " частота ", установить на входе ступенчатое напряжение 1 В.

Таблица 2.1

Стенд	К3	T3, мс	T4, мс	К4	T5, мс
1	3	1,5	3	1	6
	2	5	5	0	5
	3	1	6	1	3
2	2	2	5	1	3
	5	2	3	1	5
	2	5	6	0	6
3	1	5	1	1	4
	5	1	4	1	1
	5	5	1	0	1
4	4	5	6	1	3
	1	5	3	1	6
	4	1	3	0	3
5	4	5	1	1	5
	1	1	5	1	1
	4	2	4	0	4

Таблица 2.2

Параметры										
f, Гц	20	30	40	50	60	80	100	120	160	200
U1, В										
U2, В										
φ, °										
ω, с-1										
lg(ω)										
A(ω)										
L(ω)										
P(ω)										

2.3.9 Переключить осциллограф N на выход, и посредством потенциометра " частота " и органов управления осциллографом добиться качественного воспроизведения переходного процесса на экране осциллографа.

2.3.10 Зарисовать переходной процесс на кальку или координатную бумагу. Записать развертки (масштабы) осциллографа по времени и напряжению.

2.3.11 По осциллограмме определить основные показатели переходного процесса.

2.3.12 Повторить п.п. 2.3.1 - 2.3.11 для других параметров схемы.

2.3.13 По данным таблицы 2.2 рассчитать и построить ЛАФЧХ.

2.3.14 Построить ЛАФЧХ каждого звена для одного варианта по указанию преподавателя (данные взять из лабораторной работы 1). Произвести построение ЛАФЧХ последовательно соединенных звеньев и сравнить их с экспериментальными.

2.3.15 Провести анализ полученных результатов.

2.3.16 Сделать выводы по работе. Оформить отчет.

3 Лабораторная работа 3

Встречно - параллельное соединение звеньев

3.1 Цель работы

Экспериментальное исследование свойств встречно-параллельного соединения звеньев.

3.2 Общие сведения

Встречно-параллельное соединение звеньев чаще всего называется системой с обратной связью. В такой системе имеется прямое преобразование энергии (прямой канал) от входа к выходу и обратное преобразование от выхода к входу (канал обратной связи).

Если сигнал с выхода канала обратной связи складывается с входным сигналом прямого канала, то обратная связь называется положительной, если происходит вычитание сигналов - отрицательной обратной связью.

Передаточная функция системы, охваченной обратной связью имеет вид:

$$W_3(P) = \frac{W_{\Pi}(P)}{1 \pm W_0(P) * W_{\Pi}(P)} \quad (3.1)$$

где $W_{\Pi}(P)$ - передаточная функция прямого канала,

$W_0(P)$ - передаточная функция канала обратной связи (знак "+" ставится при отрицательной обратной связи, знак "-" при положительной).

Из уравнения (3.1) следует, что при положительной обратной связи необходимо передачную функцию цепи обратной связи выбирать такой, чтобы при любой частоте знаменатель передачной функции не равнялся нулю. В противном случае передачная функция будет равна бесконечности, и САУ будет неустойчивой. Вследствие этого положительные обратные связи используются редко.

Чаще всего обратная связь выполняется отрицательной.

По характеру действия обратных связей во времени они делятся на жесткие и гибкие. Жесткие обратные связи действуют во все время работы САУ, и выполняются в виде пропорциональных или апериодических звеньев. Гибкие обратные связи действуют только в переходных режимах, и

по окончании переходного режима их действие прекращается. Выполняются гибкие обратные связи дифференцирующими и режеле интегрирующими звеньями. Логарифмическая амплитудно-фазочастотная характеристика замкнутой САУ (ЛАФЧХ) может быть построена двумя способами:

- а) с использованием номограмм замыкания / 1,2,3 /;
- б) с помощью аппроксимации.

При отрицательной обратной связи передаточную функцию замкнутой системы можно представить в виде:

$$W_z(p) = \frac{W_{\Pi}(p)}{1 + W_o(p) * W_{\Pi}(p)} = \frac{W_{\Pi}(p) * W_o(p)}{1 + W_o(p) * W_{\Pi}(p)} * \frac{1}{W_o(p)} = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} * \frac{1}{W_o(p)} = \Phi(p) * \frac{1}{W_o(p)}, \quad (3.2)$$

где $W_p(p)$ - передаточная функция разомкнутой САУ,

$$W_p(p) = W_{\Pi}(p) * W_o(p), \quad (3.3)$$

$\Phi(p)$ - передаточная функция замкнутой САУ при единичной обратной связи.

В логарифмическом масштабе передаточная функция замкнутой САУ представляется так:

$$L_z(\omega) = L\{\Phi(\omega)\} - L_o(\omega) = \Delta L(\omega) - L_o(\omega), \quad (3.4)$$

$$\varphi_z(\omega) = \varphi\{\Phi(\omega)\} - \varphi_o(\omega) = \Delta\varphi(\omega) - \varphi_o(\omega), \quad (3.5)$$

где $L\{\Phi(\omega)\} = \Delta L(\omega) = f\{L_p(\omega), \varphi_p(\omega)\}$ - ЛАЧХ замкнутой САУ при единичной обратной связи и определяется по номограмме замыкания / 1,2,3 /,

$\varphi\{\Phi(\omega)\} = \Delta\varphi(\omega) = f\{L_p(\omega), \varphi_p(\omega)\}$ - ЛФЧХ замкнутой САУ при единичной обратной связи и определяется по номограмме замыкания.

Чтобы построить ЛАФЧХ замкнутой САУ необходимо (рис 3.1):

- а) построить ЛАЧХ и ЛФЧХ прямого канала $L_p(\omega)$, $\varphi_p(\omega)$ и ка -

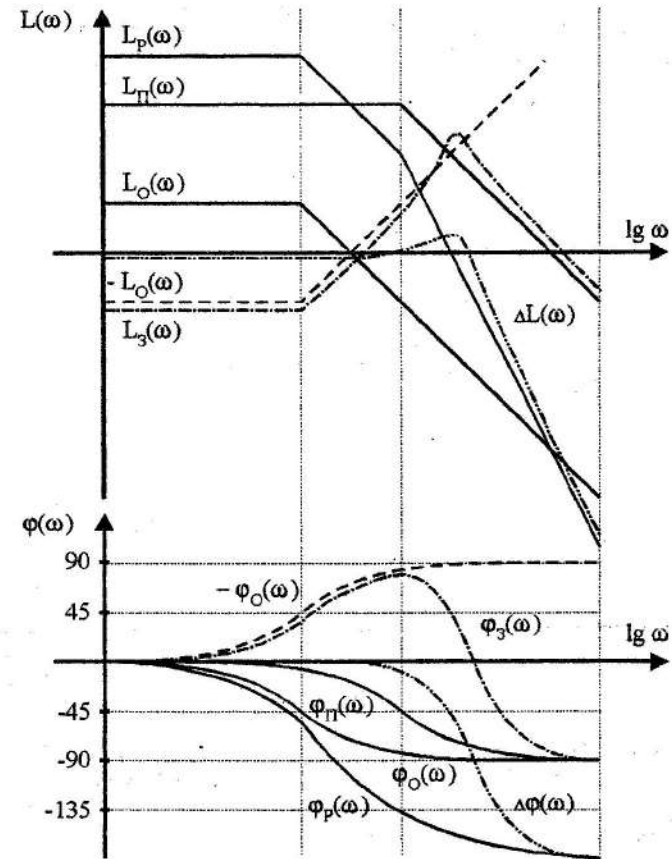
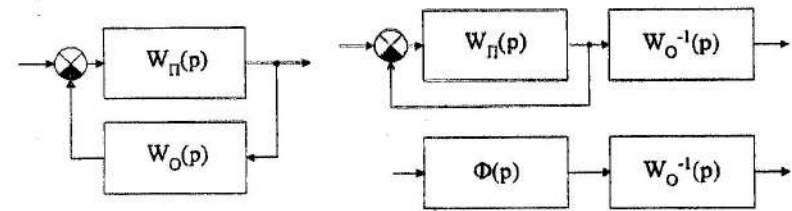


рисунок 3.1

на обратной связи $L_0(\omega)$, $\varphi_0(\omega)$;

б) построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САУ

$$L_p(\omega) = L_n(\omega) + L_0(\omega) ,$$

$$\varphi_p(\omega) = \varphi_n(\omega) + \varphi_0(\omega) ;$$

в) по номограмме замыкания / 1,2 / для различных частот определить $\Delta L(\omega)$ и $\Delta \varphi(\omega)$ и отметить их на графике;

г) построить ЛАФЧХ САУ по уравнениям (3.4) и (3.5).

Для построения ЛАФЧХ приближенным методом (аппроксимированным способом) рассмотрим уравнение (3.1)

$$W_3(P) = \frac{W_n(P)}{1 + W_n(P) * W_0(P)} ,$$

а) пусть в некотором диапазоне частот

$$W_n(P) * W_0(P) \gg 1 ,$$

или

$$L_n(\omega) + L_0(\omega) \gg 0 ,$$

$$L_n(\omega) \gg -L_0(\omega) ,$$

тогда

$$W_3(P) \approx \frac{W_n(P)}{W_0(P) * W_n(P)} = \frac{1}{W_0(P)} , \quad (3.6)$$

$$L_3(\omega) \approx -L_0(\omega) , \quad (3.6a)$$

$$\varphi_3(\omega) \approx -\varphi_0(\omega) , \quad (3.6b)$$

т.е. в диапазоне частот, где $L_n(\omega) \gg -L_0(\omega)$ ЛАФЧХ замкнутой САУ соответствует ЛАФЧХ обратной связи, взятой с обратным знаком;

б) пусть в другом диапазоне частот

$$W_n(P) * W_0(P) \ll 1 ,$$

или

$$L_n(\omega) + L_0(\omega) \ll 0 ,$$

$$L_n(\omega) \ll -L_0(\omega) ,$$

тогда

$$W_3(P) \approx W_n(P) , \quad (3.7)$$

$$L_3(\omega) \approx L_n(\omega) , \quad (3.7a)$$

$$\varphi_3(\omega) \approx \varphi_n(\omega) , \quad (3.7b)$$

т.е. в диапазоне частот, где $L_n(\omega) \ll -L_0(\omega)$ ЛАФЧХ замкнутой САУ соответствует ЛАФЧХ прямого канала.

Итак, для приближенного построения ЛАФЧХ замкнутой САУ необходимо (рис. 3.2):

а) построить ЛАЧХ $L_n(\omega)$ и ЛФЧХ $\varphi_n(\omega)$ прямого канала и обратную ЛАФЧХ $-L_0(\omega)$ и $-\varphi_0(\omega)$ канала обратной связи;

б) построить ЛАЧХ $L_3(\omega)$ замкнутой САУ, которая совпадает с меньшей ЛАЧХ из $L_n(\omega)$ или $-L_0(\omega)$, ЛФЧХ замкнутой САУ совпадает с той ЛФЧХ, которой соответствует ЛАЧХ замкнутой в данном диапазоне частот ($\varphi_n(\omega)$ или $-\varphi_0(\omega)$).

Максимальная погрешность приближенного построения ЛАЧХ не превышает 6 дБ в диапазоне частот, где $L_n(\omega) \approx -L_0(\omega)$.

3.3 Порядок выполнения

3.3.1 Собрать схему для экспериментального исследования встречно-параллельного соединения звеньев (рис. 3.3). На вход схемы подать напряжение от генератора синусоидальных сигналов.

3.3.2 С помощью переключателей выставить параметры звеньев своего варианта (таблица 3.1).

3.3.3 После проверки схемы преподавателем включить стенд.

3.3.4 Потенциометром генератора синусоидальных сигналов установить напряжение на входе 1 В при частоте 20 Гц. С помощью осциллографа необходимо убедиться, что форма кривой входного и выходного напряжений являются синусоидальными. Если кривая выходного напряжения отличается от синусоиды, следует изменить уровень входного на-

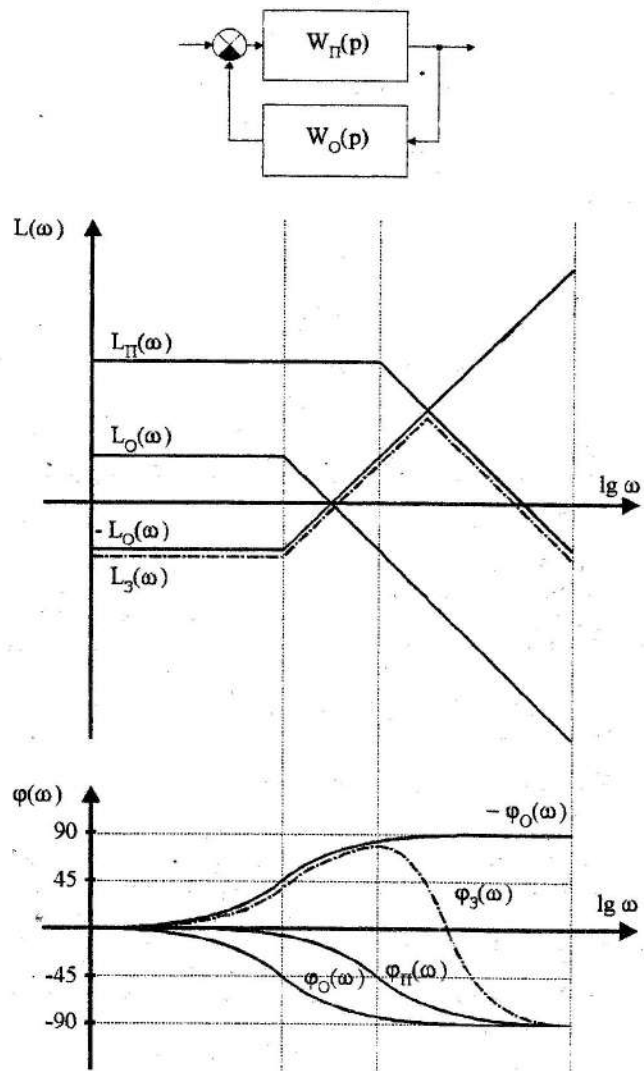


рисунок 3.2

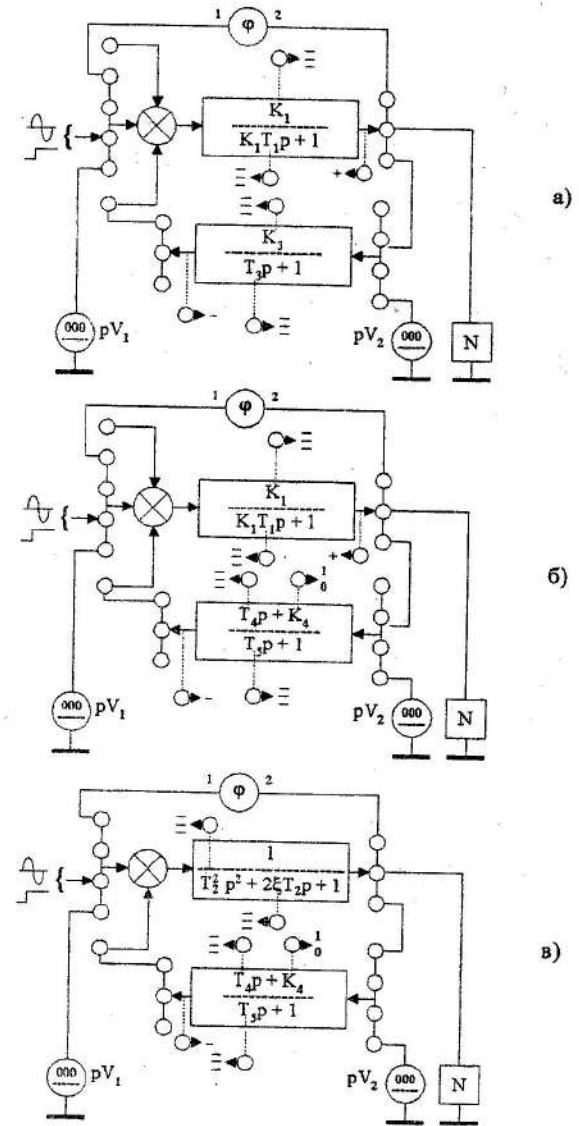


рисунок 3.3

Таблица 3.1

№ п/п	T2, мс	ξ	K1	T1, мс	T4, мс	K4	T5, мс	K3	T3, мс
1	4	.25	3	1.5	3	1	6	3	1.5
					6	1	3	2	5
2	2	.25	1	2.2	5	1	3	2	2
					3	1	5	5	2
3	2	.2	2.5	1.1	6	0	6	2	5
					1	1	4	1	5
4	1	.2	5	2.2	4	1	1	5	1
					1	0	1	5	5
5	3	.2	1	7.3	6	1	3	4	5
					3	1	6	1	5
					1	1	5	4	5
					5	1	1	1	1
					4	0	4	4	2

Таблица 3.2

Параметры										
f, Гц	20	30	40	50	60	80	100	120	160	200
U1, В										
U2, В										
φ , °										
ω , с-1										
lg(ω)										
A(ω)										
L(ω)										
P(ω)										

пряжения.

3.3.5 Изменяя частоту синусоидального напряжения с помощью переключателей "частота" и множитель" генератора, снять АФЧХ. Экспериментальные данные свести в таблицу 3.2.

3.3.6 Выключить стенд.

3.3.7 Вместо генератора на вход схемы подать ступенчатый сигнал.

3.3.8 После проверки схемы преподавателем, включить стенд.

3.3.9 Подключить осциллограф N на вход. С помощью потенциометров "амплитуда" и "частота" установить на входе ступенчатое напряжение 1В.

3.3.10 Переключить осциллограф N на выход САУ и посредством потенциометра "частота" и органов управления осциллографом добиться качественного воспроизведения переходного процесса на экране осциллографа.

3.3.11 Зарисовать переходной процесс на кальку или координатную бумагу. Записать развертки (масштабы) осциллографа по времени и напряжению.

3.3.12 Повторить п.п. 3.3.1 - 3.3.11 для других параметров.

3.3.13 Разомкнуть обратную связь и снять переходной процесс для прямого канала.

3.3.14 По осциллограммам определить основные показатели качества переходного процесса, сделать выводы о влиянии различных обратных связей на переходную характеристику.

3.3.15 По данным таблицы 3.2 рассчитать и построить ЛАФЧХ встречно-параллельного включения звеньев.

3.3.16 На основании экспериментальных данных, проведенных в лабораторной работе 1, для своих вариантов (таблица 3.1) построить ЛАФЧХ:

- а. прямого канала,
- б. канала обратной связи,
- в. разомкнутой САУ.

3.3.17 Построить ЛАФЧХ замкнутой САУ одним из методов по указанию преподавателя.

3.3.18 Произвести анализ полученных результатов.

3.3.19 Сделать выводы по работе и оформить отчет.