

## Лабораторная работа № 1 (по теме 3).

### Исследование характеристик типовых звеньев с использованием программы «МВТУ» (Продолжительность работы – 2 часа)

Для выполнения лабораторной работы потребуется программный комплекс ПК МВТУ, который вы можете отыскать в Интернете по адресу: **mvtu.power.bmstu.ru** и скачать для работы не только в этом семестре, но и в последующих.

#### Цель работы:

- Получить сведения о возможностях программного комплекса (ПК) МВТУ и приобрести определенные навыки работы с ним;
- ознакомиться с амплитудно-фазовыми частотными характеристиками (АФЧХ), логарифмическими частотными характеристиками (ЛЧХ) и переходными функциями типовых звеньев;
- изучить способы определения параметров типовых звеньев по их временным и частотным характеристикам;
- составить представление о динамических показателях регулирования и дать им оценку по экспериментальным данным.

#### Краткие теоретические сведения.

В технических системах управления присутствуют элементы различной физической природы, конструкций, мощности. Описываются они одинаковыми дифференциальными уравнениями, т.е. представляются одними и теми же математическими моделями. Простейшую математическую модель элемента управления принято называть **звеном**. Звено представляется в форме передаточной функции, определяемой отношением **изображений** выходной величины  $X(s)$  к входной величине  $G(s)$  при нулевых начальных условиях:

$$W(s) = \frac{X(s)}{G(s)}, \quad (1)$$

где  $s = \alpha + j\omega$  – комплексная независимая переменная.

Передаточная функция позволяет анализировать поведение элемента как в динамике, так и в статике.

Методы анализа и синтеза систем автоматического управления базируются либо на частотных, либо на временных характеристиках. Наибольшее применение получили амплитуднофазовые частотные характеристики (АФЧХ), логарифмические амплитудные частотные характеристики (ЛАЧХ) и логарифмические фазочастотные характеристики (ЛФЧХ).

Амплитудно-фазовую частотную характеристику (рис.1) можно получить из передаточной функции (1), положив  $s = j\omega$  и придав символу  $\omega$  смысл круговой частоты. В этом случае получается частотная передаточная функция  $W(j\omega)$ , представляющая комплексную функцию частоты  $\omega$ . Алгебраическая форма записи  $W(j\omega)$ :

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega), \quad (2)$$

где  $U(\omega)$  – действительная, а  $V(\omega)$  – мнимая частотные характеристики, позволяет в декартовых координатах комплексной плоскости с горизонтальной осью  $U(\omega)$  и вертикальной осью  $V(\omega)$  построить АФЧХ как параметрически заданную функцию, независимой переменной которой является частота  $\omega$  (рис.1).

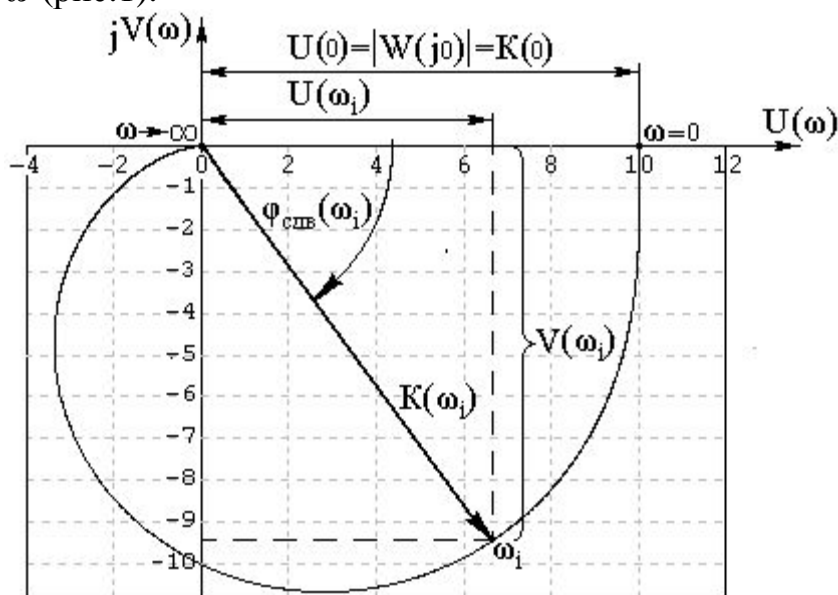


Рис.1

Если на вход линейного элемента (или системы) подать гармонический сигнал  $g(t) = g_m \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_o)$ , где  $g_m$  – амплитуда входного воздействия,  $\omega_i$  – некоторое фиксированное значение частоты,  $\varphi_o$  – начальный фазовый сдвиг, то после прохождения этого сигнала через него регулируемая координата  $x(t)$  будет представлять гармонический сигнал той же частоты, но с измененной амплитудой  $x_m$  и дополнительным фазовым сдвигом  $\varphi_{cdв}$ .

$$x(t) = x_m \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_o + \varphi_{cdв}) = g_m \cdot K(\omega_i) \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_o + \varphi_{cdв}). \quad (3)$$

Изменение амплитуды на каждой фиксированной частоте  $\omega_i$  принято оценивать коэффициентом передачи  $K(\omega_i)$  (определяется отношением амплитуды выходного сигнала элемента к амплитуде на его входе):

$$\frac{x_m}{g_m} \Big|_{\omega_i = const} = \frac{g_m \cdot K(\omega_i)}{g_m} = K(\omega_i). \quad (4)$$

Изменение фазы принято характеризовать разностью фаз выходного и входного сигналов (фазовым сдвигом):

$$\varphi_{cdв}(\omega_i) = (\omega_i t + \varphi_o + \varphi_{cdв}) - (\omega_i t + \varphi_o).$$

Для каждой частоты амплитуда и фазовый сдвиг выходного сигнала будут иметь свои значения. АФЧХ несет информацию о коэффициенте передачи  $K(\omega_i)$  (в виде длины вектора  $|K(\omega_i)|$ ) и фазовом сдвиге  $\varphi_{сдв}(\omega_i)$  в виде угла между положительным направлением действительной оси и вектором  $K(\omega_i)$  рис.1.

Таким образом, эти две функции частоты [ $K(\omega_i)$  и  $\varphi_{сдв}(\omega_i)$ ] характеризуют передающие свойства элемента или системы.

АФЧХ разомкнутой системы еще называют годографом Найквиста, а АФЧХ замкнутой – именуют годографом Михайлова.

Частоту, на которой коэффициент передачи равен **единице** (в децибелах равен **0**), называют **частотой среза** –  $\omega_{ср}$ , то есть  $K(\omega_{ср}) = 1$ .

Частоту, на которой фазовый сдвиг достигает **-180°**, будем называть **инверсной** –  $\omega_{и}$ , то есть  $\varphi_{сдв}(\omega_{и}) = -180^\circ$ .

Другим видом частотных характеристик являются логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ), объединяющие логарифмическую амплитудную частотную характеристику (ЛАЧХ)  $L = 20 \lg K(\lg \omega_i)$ , дБ и логарифмическую фазочастотную характеристику (ЛФЧХ) –  $\varphi_{сдв}(\lg \omega_i)$ , град.

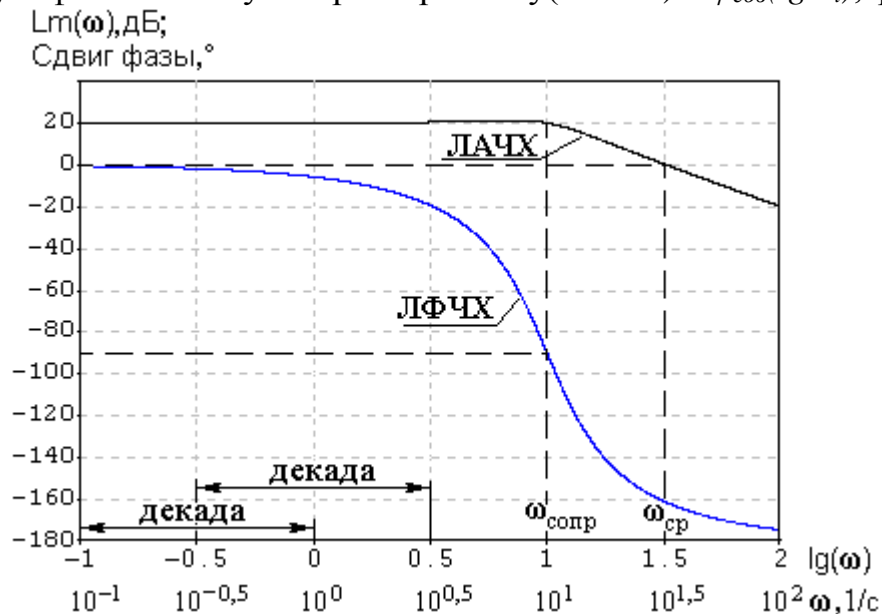


рис.2

Необходимо заметить, что при построении логарифмических амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик по оси абсцисс откладывают частоту в логарифмическом масштабе –  $\lg \omega$ , рис.2.

Однако, как правило, около этих отметок указывают действительное значение частоты  $\omega$ . Отрезок частот, соответствующий изменению частоты в 10 раз, называется **декадой**. Поскольку  $\lg 0 \rightarrow -\infty$ , то ось ординат, обычно проводят через точку оси абсцисс, соответствующую  $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$  ( $\lg 1 = 0$ ) и на ней откладывают значения логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) в децибелах (дБ) в равномерном масштабе. Наиболее просто строятся асимптотические ЛАЧХ, которые для большинства типовых звеньев состоят из двух прямых, стыкуемых на

частоте сопряжения –  $\omega_{сопр} = 1/T$ , где  $T$  постоянная времени исследуемого звена.

Логарифмическая фазовая частотная характеристика (ЛФЧХ) имеет такую же ось абсцисс, что и ЛАЧХ, а ось ординат проводят в удобном для считывания месте и на ней в равномерном масштабе откладывают фазу в градусах. Часто оси обеих характеристик совмещают, чтобы было удобно сопоставлять изменения фазы с изменениями амплитуды на одних и тех же частотах (рис.2).

Временной характеристикой элементов и систем автоматического управления является **переходная функция** –  $h(t)$ , представляющая собой изменение регулируемой координаты элемента (системы) после подачи на него единичного ступенчатого входного воздействия:

$$g(t) = I(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0 \\ 1, & \text{при } t \geq 0 \end{cases}$$

при нулевых начальных условиях.

При известной переходной функции  $h(t)$  реакция элемента или системы на входное воздействие  $g(t) = \kappa \cdot I(t)$  определяется величиной  $\kappa \cdot h(t)$ , где  $\kappa$  – коэффициент.

### Задание и порядок выполнения работы

Поскольку для всех исследуемых в работе звеньев предстоит получить  $h(t)$ , то после открытия программы «МВТУ» создается файл (именуется пользователем), в котором составляется схема моделирования рис.3 по параметрам заданного варианта.

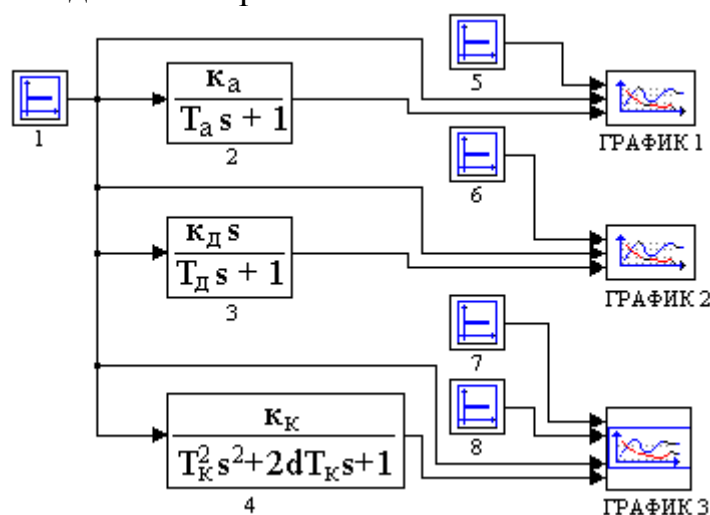


Рис.3

Для построения схемы войдите в подменю «Источники» и активизируйте кнопку с символом идентичным блокам 1,5,...,8 и названием «константа», щелкнув на ней один раз левой клавишей мыши. (В дальнейшем, если не уточняется, какая клавиша мыши используется, то по умолчанию считается левая). В необходимых местах файлового поля,

указываемых стрелочным курсором, размещаются блоки щелчком мыши. Для размещения каждого подобного блока снова активизируется пиктограмма «константа».

Для установки звеньев войдите в подменю «Динамические», найдите пиктограммы с соответствующими звеньями и последовательно, активизируя их, разместите в необходимых местах файлового поля.

Блоки «Графики» находятся в подменю «Данные» и аналогичным рассмотренным выше образом размещаются в файловом поле. Блок «график» появляется с одним *входным* портом, но при необходимости их число можно устанавливать следующим образом. На пиктограмму «график» ставится стрелочный курсор и правой клавишей мыши делается щелчок, выпадает меню блока, в котором выбирается команда «Свойства». После щелчка на этой команде появляется диалоговое окно «Свойства объектов», в котором в строке «число входов» следует установить необходимую цифру и нажать кнопку « $\sqrt{\quad}$  Да». Выполненное сохранить.

Далее в соответствии со схемой рис. 3 проводят линии связи. Для упрощения рисования и эстетичности структурной схемы целесообразно включить опцию *сетка*, для чего поместите курсор на кнопку стилизованную в форме сетки на дополнительной панели инструментов и щелкните мышью. Все поле файла представится усеянным точками, что позволит аккуратно проводить линии связи.

Блок 1 генерирует управляющее воздействие. Поставив курсор на *выходной* порт (символ > с правой стороны) блока 1, сделайте щелчок мышью, появится значок «кружок с перекрестием», далее протяните линию связи до *входного* порта (символ > с левой стороны) необходимого по схеме блока. Снова сделайте щелчок мышью и на входе блока появится типичная стрелка, свидетельствующая, что связь установлена, «кружок с перекрестием» пропадет.

Если в процессе формирования связи требуется сделать поворот, то достаточно щелкнуть мышью и далее тянуть линию в новом направлении.

Для прерывания линии связи нажмите клавишу «Shift» и, не отпуская ее, сделайте щелчок мышью: линия оборвется. При необходимости линию связи можно удалить, сначала выделив ее щелчком на линии, а затем изъять с помощью командной кнопки «Вырезать» (пиктограмма ножницы). Существует и другой способ удаления, в соответствии с которым стрелочный курсор ставится на линию и нажимается правая клавиша мыши. После этого появляется выпадающее меню команд, среди которых выбирается нужная команда.

В соответствии со схемой рис.3 от линии сигнала входного воздействия приходится делать ответвления. С этой целью поставьте курсор на линию связи (предпочтительнее на угол поворота линии связи), нажмите клавишу «Ctrl» и, не отпуская ее, сделайте щелчок мышью: появится точка. Отпустив клавиши, ведите линию до следующего блока и т.д. Выполненное сохранить.

Следующий шаг к моделированию заключается в установлении параметров исследуемой структурной схемы. Процедура для всех блоков практически одна и та же: стрелочный курсор ставится на соответствующий блок и делается двойной щелчок, открывается диалоговое окно блока с активной закладкой «Параметры», где в соответствующих строках устанавливаются необходимые параметры в соответствии с полученным вариантом задания. (Это же диалоговое окно можно открыть щелчком правой клавиши мыши и затем щелчком на команде «Свойства»). Установка параметров в виде десятичных дробей производится через **точку(!)**, а не через запятую. Процедура заканчивается нажатием кнопки «√ Да».

Перед тем как запустить задачу на решение необходимо установить параметры расчета, для чего на клавиатуре нажмите клавишу F10. В появившемся диалоговом окне с активной закладкой «**Основные**» установите: метод интегрирования «Адаптивный 1»; время интегрирования на начальном этапе 10 секунд (в дальнейшем при анализе полученных результатов моделирования время интегрирования может быть изменено в большую или меньшую сторону); минимальный шаг интегрирования 0.001 (с); максимальный шаг интегрирования 0.1 (с); шаг вывода результатов 0.001 (с); точность 0.001, завершив процедуру нажатием кнопки «√ Да».

В структурной схеме рис.3 имеются блоки с номерами 5,6,7,8, которые служат для задания допустимого отклонения регулируемой величины в процентах от её установившегося значения. Для апериодического звена (блок 2) устанавливаем допуск  $5\%h(\infty)$ , для инерционно-дифференцирующего звена (блок 3) –  $5\%h(0)$ , для колебательного звена (блок 4) –  $\pm 10\%h(\infty)$ . Все величины допусков откладываются от значений переходных функций  $h(\infty)$ , иллюстрация которых приводится на рис.4,а, б, в. Расчет предельных числовых величин переходных функций  $h(\infty)$  и  $h(0)$  производится на основании соответственно теорем о конечном и начальном значениях оригинала по параметрам варианта задания. ***Не забывайте сохранять выполненные работы.***

Теперь можно перейти к процессу расчета, инициировав в меню режим «Моделирование». В выпадающем списке команд выбрать «Расчет» – (Ctrl+F9).

Результаты расчета можно увидеть, активизировав желаемый график, двойным щелчком на его пиктограмме. Появляется окно с названием График, в котором изображаются поступающие в графический блок сигналы. Для редактирования полученных результатов переместите стрелочный курсор примерно в центр окна и щелкните правой клавишей мыши. Появится меню команд, среди которых наибольший интерес представляет «Свойства». После щелчка на этой команде появляется диалоговое окно «Настройка». Поместив курсор в поле «Заголовок», записываете название графика, например, Переходная функция

аперидического звена –  $h_a(t)$  и кнопками, расположенными выше, ориентируете надпись (по левому краю, по центру, по правому краю). Буквенные символы ( $F^f F$ ), расположенные рядом, позволяют выбрать шрифт заголовка. В окошке под названием «Графики» можно установить цвет и тип линии, цвет и тип линии фоновой сетки, цвет фона графиков. Для этих целей служат кнопки ▼ и цветная кнопка. Поместив курсор на цветную кнопку, щелкните мышью и появится цветной квадрат. На выбранном цвете щелкните мышью и на нем появятся буквы FG – это будет цвет линии графика, затем правой клавишей мыши щелкните на выбранном цвете фона графика и в квадратике этого цвета появятся буквы BG.

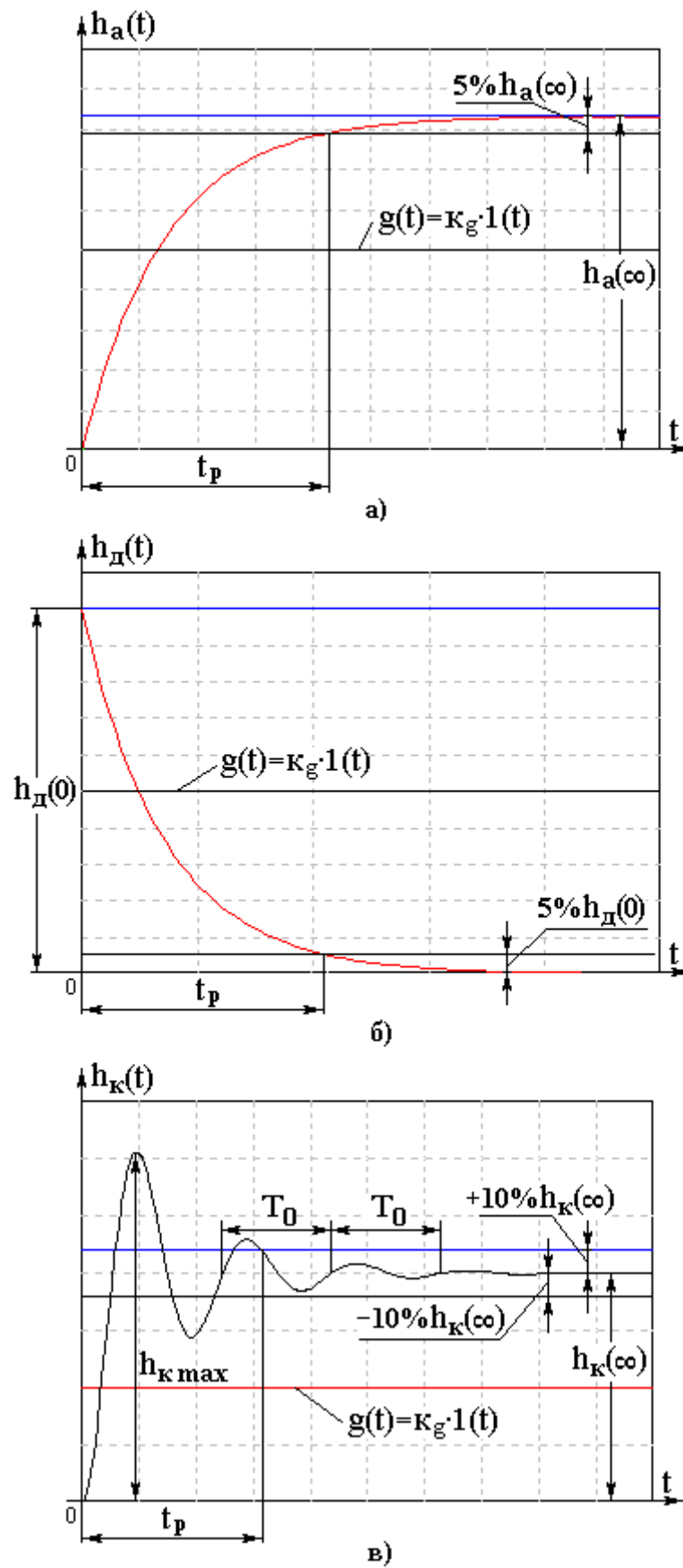


Рис.4

По осям X и Y устанавливают максимальные и минимальные значе-



ния аргумента и функции и число делений с целью наилучшего восприятия результатов. Аргументом, откладываемым по оси X, является время. Поэтому время протекания процесса выбирают из соображения, что горизонтальный участок функции, соответствующий её конечному состоянию  $h(\infty)$ , не должен занимать более 1–2-х секунд.

В нижней части окна «Настройка» под осью X имеется окошко с надписью «Метка», в котором справа ставится символ времени – t, с. В таком же окошке под осью Y вместо слова «Переменная» слева указываются символы: входного воздействия –  $g(t)$  и выходной координаты –  $x(t)$ . По окончании редактирования нажимается кнопка «√ Да» и проверяется результат.

Если графики удовлетворяют требованиям, то дается команда на сохранение. В противном случае продолжить редактирование.

Переходные функции всех исследованных звеньев следует распечатать и затем на графиках выполнить необходимые построения и расчеты, о которых будет сказано в разделе «Обработка результатов».

Перейдем к получению частотных характеристик звеньев (АФЧХ и ЛЧХ), составив схему по образцу, приведенному на рис.5. На вход всех

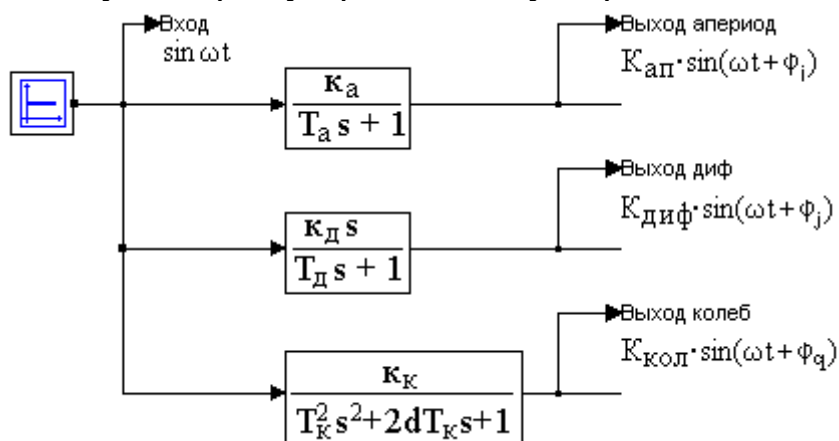



Рис.5

звеньев подается единичное гармоническое воздействие:  $\sin \omega t$ . Делается это в следующем порядке. Найдите в меню закладку «Субструктуры» и щелчком мыши инициализируйте каталог типовых блоков. Щелчком на пиктограмме  активизируйте блок «В память» и затем щелчком поставьте в месте, где находится надпись Вход. В схемном окне появится блок «В память» с именем Y1(Y2, и т.д.). Для присвоения этому блоку имени надо на его контуре двойным щелчком мыши открыть окно «В память», где в строке «имя переменной» написать Вход. Далее можно дать название этому входу, для чего щелкните правой клавишей мыши в контуре блока, появится список команд, из которого щелчком выбрать «Свойства».

Откроется окно «Свойства объектов», в котором выбрать закладку «Общие» и в рамке «заголовок» выбранным шрифтом написать  $\sin \omega t$  и закончить нажатием кнопки «√ Да». Теперь линию связи от входного воздействия соединить с блоком Вход. Поставив курсор на линию при

нажатой клавише «Ctrl» щелчком мышью, появится точка (клавишу «Ctrl» можно отпустить) и далее провести линию связи до блока «Вход».

Снова обратитесь к закладке «Субструктуры», активизируйте блок «В память» и вставьте в место вблизи выхода апериодического звена, ориентируясь по рис.5. Дважды щелкнув мышью в контуре блока «В память» в открывшемся окне запишите новое имя переменной «Выход апериодического звена» (можно короче, как на рис.5) и затем – «√ Да». Щелкнув правой клавишей мыши, вызовите список команд, из которого выберите «Свойства...», активизируйте их и далее в появившемся окне закладки «Общие» впишите заголовок  $K_{ап} \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$  и затем – «√ Да». Проведите линию связи с выхода апериодического звена до блока «Выход апериод». Аналогичные процедуры выполните с выходами других звеньев, полностью сформировав схему рис.5.

Теперь приступите к получению частотных характеристик звеньев. Переместите курсор на надпись «Анализ» в основном меню и щелкните мышью. В открывшемся меню выберите – «Частотный анализ», щелкните мышью и появится диалоговое окно «Параметры частотного анализа», в котором заполните первые три строчки:

Начальная частота – 0.01(десятичную дробь записывать через точку) или 1E-2;

Конечная частота – 1000 или 1E3;

Число точек вывода – 1000 (при необходимости можно изменять).

Остальные параметры оставьте без изменения.

Поставьте курсор на кнопку «Характеристик» и щелкните мышью, появится пустое графическое окно с заголовком «Частотные характеристики». Активизируйте окно «Параметры частотного анализа» путем щелчка на его бледном заголовке. В этом диалоговом окне поставьте курсор на крайнюю левую кнопку с красным символом «+» и щелкните мышью. Под знаком № появится цифра 1, перейдите в соседнюю клетку этой же строки под названием «Вход» и щелкните на ней, выпадет меню с названиями входов, выберите одноименный (смотри на рис.5). Перейдите в следующую строку и также щелкните в ней, появятся названия выходов (Выход апериод; Выход диф; Выход кол), из которых выберите нужное. В последней графе под названием «Характеристика» после щелчка в строке под названием будут предложены различные характеристики: Вещественная, Мнимая, АЧХ (амплитудно-частотная характеристика), ЛАХ (логарифмическая амплитудно-частотная характеристика), ФЧХ (логарифмическая фазо-частотная характеристика). Поскольку в лабораторной работе требуются последние две, то выберите щелчком ЛАХ. Затем снова вернитесь на кнопку «+» и щелкните мышью на ней, появится строка с номером 2. Соседняя кнопка с красным символом «-» удаляет строки. В графах «Вход» и «Выход» поставьте те же названия, а в графе «Характеристика» выбираете ФЧХ.

Для получения результата в графическом окне следует нажать кнопку

«Расчет» – пиктограмма с секундомером и стартовым пистолетом. На графике появятся две кривые, которые можно редактировать следующим образом. В плоскости графика щелкните правой клавишей мыши и откроется меню команд, из которых выберите щелчком «Свойства». Появится знакомое диалоговое окно с названием «Настройка», где, пользуясь предложениями, можно хорошо отредактировать графики. ЛАХ и ФЧХ строятся для каждого звена и для отчета делаются распечатки. Чтобы графики были удобными для дополнительных построений их можно изменять по вертикали и горизонтали (рекомендуемое соотношение по осям  $Y:X = 250:400$ ).

Получение АФЧХ (в ПК МВТУ они именуются: годографом Найквиста для звеньев и разомкнутых систем и годографом Михайлова для замкнутых систем) выполняется приемами аналогичными получению логарифмических характеристик. Отличие заключается в выборе не характеристик, а годографа Найквиста (в лабораторной работе) или годографа Михайлова.

Для удобства обработки полученных результатов целесообразно использовать еще одну команду «Курсор». Поставьте стрелочный курсор на плоскость исследуемого графика и щелкните правой клавишей мыши, появится меню команд, в котором выберите щелчком мыши «Курсор». В пределах графика появляются «плавающие» оси координат и курсор в форме креста, которые будут перемещаться по графику при движении мыши (рис. 6). Кроме того, рядом всплывает маленькое окно с названием «Курсор» (рис.7).

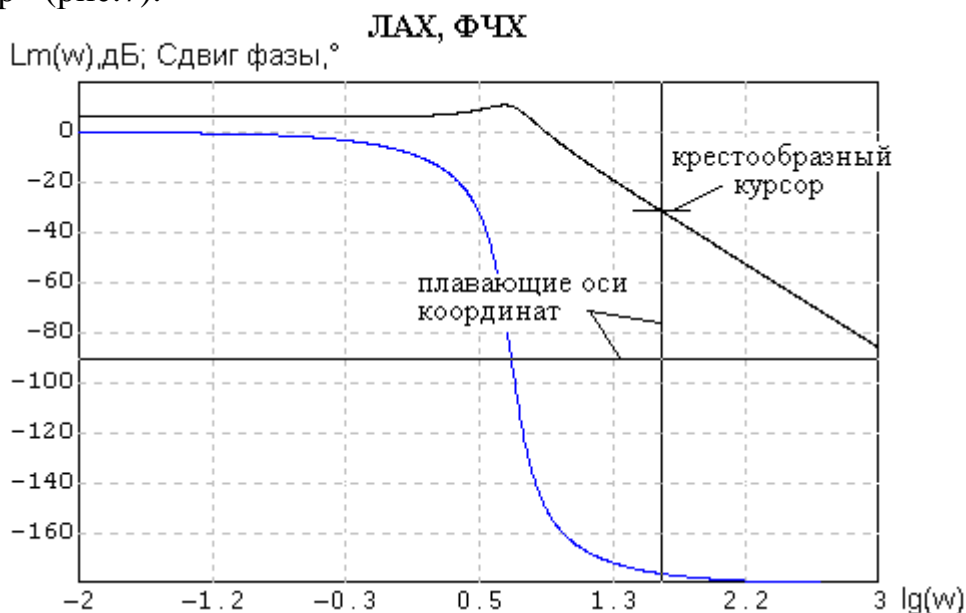


Рис.6

Для примера графиков ЛАХ и ФЧХ рассмотрим состав окна. Оно содержит три графы, в центральной – будут приводиться значения аргумента

Курсор		
	129.155	-95.17875
>График 1	128.825	-50.40987
График 2	128.825	-178.664

Рис.7

(в случае частотных характеристик это частота), в крайней правой – отражаются значения функции, соответствующие текущему аргументу (частоте). В первой строке приведены значения частоты и амплитуды, соответствующие перекрестию плавающих осей координат. Во второй строке даются текущие значения аргумента и функции активного (признак >) графика (в примере ЛАХ), на котором находится крестообразный курсор. В третьей строке – текущие значения аргумента и функции графика ФЧХ. По минованию надобности «плавающие» оси координат и курсор удалите нажатием правой клавиши мыши в плоскости графика и снятием щелчком мыши «флажка» у команды «Курсор».

В окне «Параметры частотного анализа» задавалось число точек вывода (1000 в нашем случае) результатов счета. Эти результаты можно увидеть, если в плоскости графика щелкните правой клавишей и в появившемся окне команд выберете «Список», появится таблица с данными расчета (для нашего примера 1001 значение), которыми можете воспользоваться при необходимости.

После получения распечаток переходных функций, АФЧХ и ЛЧХ всех 3-х звеньев переходят к их обработке в соответствии с требованиями для каждого звена.

### Обработка полученных результатов.

1. **АПЕРИОДИЧЕСКОЕ** звено,  $W(s)=K_a/(T_a s+1)$ .

1.1 По полученной переходной функции определите: исходный коэффициент передачи –  $K_a$ , постоянную времени –  $T_a$  и время переходного процесса  $t_p$  до установившегося режима работы (рис.4,а) с точностью не хуже 5% от конечного значения выходной величины –  $h_a(\infty)$ ; рассчитайте, сколько составит  $t_p$  в единицах  $T_a$ . Используя уравнение переходной функции апериодического звена, рассчитайте за какое время в единицах  $T_a$  переходная функция  $h_a$  достигнет 95% конечного значения. Результаты математического моделирования сравните с теоретическими расчетами.

1.2 На полученной ЛАЧХ проведите асимптоты (горизонтальную и наклонную), определите местоположение и значение частоты сопряжения и на ней определите максимальную погрешность построения асимптотической ЛАЧХ по сравнению с точной в децибелах и безразмерных единицах. На наклонном участке выделите декаду и определите изменение коэффициента передачи в дБ, приходящееся на нее. По ЛФЧХ определите значение фазового сдвига на частоте сопряжения.

1.3 На полученной АФЧХ укажите точки соответствующие нулевой, бесконечной частотам и частоте сопряжения, на которой  $U(\omega_{\text{сопр}}) = V(\omega_{\text{сопр}})$ . Определите коэффициенты передачи и фазовые сдвиги на этих частотах.

## 2. **ИНЕРЦИОННО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЕ (РЕАЛЬНОЕ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЕ)** звено: $W(s) = K_d s / (T_d s + 1)$

2.1 По полученной при моделировании переходной функции  $h_d$  определите значения  $T_d$  (аналогично определению  $T_a$  в апериодическом звене), а  $K_d$ , используя теорему о начальном значении оригинала. Необходимые построения приведены на рис.4,б.

2.2 На распечатке ЛАЧХ проведите наклонную и горизонтальную асимптоты; укажите местонахождение и определите значение частоты сопряжения; определите максимальную погрешность в децибелах и относительных единицах построения асимптотической ЛАЧХ по сравнению с точной; рассчитайте значение коэффициента передачи для  $\omega \rightarrow \infty$  в децибелах и безразмерных единицах. На наклонном участке ЛАЧХ выделите декаду и определите в децибелах изменение коэффициента передачи, приходящееся на этот отрезок частоты. По ЛФЧХ определите фазовый сдвиг на частоте сопряжения.

2.3 На полученной АФЧХ укажите местонахождение частоты сопряжения (где тоже  $U(\omega_{\text{сопр}}) = V(\omega_{\text{сопр}})$ ) и определите коэффициенты передачи и фазовые сдвиги на частотах:  $\omega = 0$ ,  $\omega = \omega_{\text{сопр}}$ ,  $\omega \rightarrow \infty$ .

## 3. **КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ** звено: $W(s) = K_k / (T_k^2 s^2 + 2d T_k s + 1)$

3.1 По переходной функции определите коэффициент перерегулирования  $\sigma = [h_{\text{кmax}} - h_k(\infty)] \cdot 100\% / h_k(\infty)$  и время регулирования  $t_p$  (рис.4,в) полагая, что ошибка в установившемся режиме составляет не более  $\pm 10\%$  от конечного значения выходной величины  $h_k(\infty)$ .

3.2 По АФЧХ определите исходный коэффициент передачи –  $K_k(0)$ . Исходя из того, что на частоте сопряжения  $U(\omega_{\text{сопр}}) = 0$ , а  $V(\omega_{\text{сопр}}) = K_k/2d$  (рис.8) рассчитайте коэффициент демпфирования –  $d$ . Используя связь частоты  $\omega_0$  и периода  $T_0$  колебаний переходной функции  $h_k(t)$  (рис.4,в), определите постоянную времени  $T_k$  колебательного звена из равенства:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \sqrt{1-d^2}}{T_0} = \frac{\sqrt{1-d^2}}{T_k} \Rightarrow T_k = \frac{T_0 \sqrt{1-d^2}}{2\pi}$$

3.3 На полученной распечатке ЛЧХ проведите горизонтальную и наклонную асимптоты и укажите местонахождение частот сопряжения и среза и определите их числовые значения. Определите максимальную погрешность в децибелах и относительных единицах построения асимптотической ЛАЧХ по сравнению с точной полученной при моделировании.

На наклонном участке ЛАЧХ выделите декаду и определите изменение коэффициента передачи, приходящееся на выделенный отрезок частоты. По ЛФЧХ определите фазовый сдвиг на частоте сопряжения.

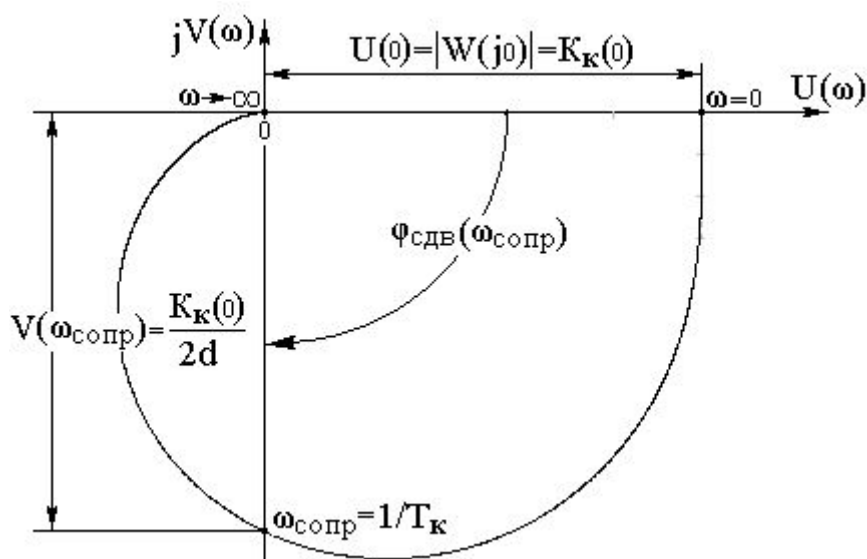


Рис.8

### Оформление и содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе (образец титульного листа смотри в приложении) должен быть представлен на листах формата А4, выполнен машинописным способом и содержать:

1. Цель работы, структурные схемы, позволяющие получать требуемые характеристики.
2. Передаточные функции исследованных звеньев.
3. Переходные функции исследованных звеньев с построениями на них, позволяющими выполнить задание по каждому звену.
4. ЛЧХ всех звеньев с результатами обработки, обозначениями на них требуемых числовых значений частот сопряжения и среза.
5. Все АФЧХ с выполнением требований по их обработке.

## Контрольные вопросы

1. Напишите передаточные функции исследованных звеньев и назовите их. Какие ещё типовые звенья вы знаете? Запишите их передаточные функции.
2. Приведите математическое описание единичного и неединичного ступенчатого воздействия как функции времени. Чему равны их изображения?
3. Дайте определение передаточной функции.
4. Что такое переходная функция  $h(t)$ ? Есть ли разница между переходной функцией и переходным процессом? На графике переходной функции любого звена укажите область рабочего режима.
5. Запишите уравнение переходной функции апериодического звена.
6. Каков физический смысл постоянной времени?
7. Какие способы определения постоянной времени апериодического звена вы знаете?
8. Что такое частота сопряжения, частота среза? Как они определяются?
9. Дайте определение амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристикам, АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ.
10. Как рассчитать время переходного процесса апериодического звена с точностью 5% и 1% от его конечного значения в единицах  $T_a$ ?
11. Как определяется наибольшая погрешность построения асимптотической ЛАЧХ от точной в всех исследованных звеньев?
12. Как определяется время регулирования по переходным функциям, носящим колебательный характер?
13. Что такое физически и как определяется коэффициент перерегулирования?
14. Как по АФЧХ колебательного звена рассчитать коэффициент демпфирования (колебательности) –  $d$ ?
15. Как определяются параметры (коэффициент передачи, постоянная времени, коэффициент демпфирования) передаточных функций исследованных звеньев по различным характеристикам, полученным экспериментальным путем?
16. Запишите уравнение переходной функции реального дифференцирующего звена.
17. Как, используя АФЧХ и переходную функцию колебательного звена, определить постоянную времени этого звена?

### Варианты задания параметров звеньев

Обозначения параметров:  $K_g$ ,  $K_a$ ,  $K_d$ ,  $K_k$  – коэффициенты соответственно: входного воздействия, аperiodического, инерционно-дифференцирующего и колебательного звеньев;  $T_a$ ,  $T_d$ ,  $T_k$  – постоянные времени соответственно: аperiodического, инерционно-дифференцирующего и колебательного звеньев;  $d$  – коэффициент демпфирования (колебательности).

Таблица 1

№ вар.	Первая буква фамилии	$K_g$	$K_a$	$T_a$	$K_d$	$T_d$	$K_k$	$T_k$	$d$
1	А	0.5	2.2	0.15	2.2	0.15	2	0.14	0.3
2	Б	1.0	1.6	0.2	1.6	0.2	2	0.24	0.3
3	В	1.0	1.2	0.25	1.2	0.25	2	0.32	0.3
4	Г	1.0	1.0	0.28	1.0	0.28	2	0.4	0.3
5	Д	1.5	1.8	0.3	0.9	0.3	2	0.42	0.2
6	Е	1.5	1.6	0.35	0.7	0.35	2	0.35	0.2
7	Ё	1.5	1.0	0.38	1.0	0.38	2	0.5	0.15
8	Ж	2.0	1.4	0.4	1.4	0.4	2	0.2	0.3
9	З	0.4	5.0	0.08	5.0	0.08	2	0.36	0.25
10	И	0.4	3.0	0.12	3.0	0.12	2	0.5	0.25
11	Й	2.0	1.8	0.22	0.8	0.22	2	0.3	0.25
12	К	1.0	2.0	0.36	2	0.36	2	0.36	0.15
13	Л	0.5	3.0	0.3	3.0	0.3	2	0.3	0.2
14	М	0.5	4.0	0.18	4.0	0.18	2	0.4	0.2
15	Н	0.5	4.0	0.13	4.0	0.13	2	0.5	0.2
16	О	1.0	3.0	0.23	3.0	0.23	2	0.42	0.2
17	П	1.0	3.0	0.32	3.0	0.32	2	0.36	0.2
18	Р	1.0	2.0	0.35	2.0	0.35	2	0.4	0.3
19	С	1.5	1.5	0.24	1.5	0.24	2	0.5	0.3
20	Т	1.5	1.0	0.28	1.0	0.28	2	0.36	0.3
21	У	0.5	2.0	0.16	2.0	0.16	2	0.4	0.25
22	Ф	2.0	1.8	0.25	0.8	0.25	2	0.3	0.3
23	Х	0.4	2.5	0.20	2.5	0.20	2	0.2	0.2
24	Ц	0.6	1.5	0.30	1.5	0.30	2	0.35	0.2
25	Ч	0.8	2.0	0.25	2.0	0.25	2	0.25	0.25
26	Ш	0.8	1.5	0.30	1.5	0.30	2	0.4	0.15
27	Щ	0.6	3.0	0.25	3.0	0.25	2	0.32	0.2
28	Э	1.2	2.0	0.28	2.0	0.28	2	0.42	0.25
29	Ю	1.2	3.0	0.26	3.0	0.26	2	0.28	0.2
30	Я	1.5	2.0	0.24	2.0	0.24	2	0.3	0.15

Номер варианта выбирается по первой букве фамилии!



Приложение

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Московский Государственный Индустриальный Университет  
(ГОУ МГИУ)**

**Кафедра «Автоматика, информатика и системы управления»**

**Лабораторная работа по ТАУ №**  
**(название)**

---

**Вариант №**

**Группа \_\_\_\_\_**  
**Студент (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_**  
**Оценка \_\_\_\_\_**  
**Дата \_\_\_\_\_**  
**Преподаватель (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_**

**Москва 20...**