

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РУЛЕВОЙ
МАШИНЫ**

САМАРА 2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к лабораторной работе
по курсу «Автоматика и управление»*

САМАРА
Издательство СГАУ
2008

Составитель *И.Е. Давыдов*

Рецензент д-р техн. наук, проф. Б. А. Т и т о в

Исследование характеристик электрогидравлической рулевой машины: метод. указания к лаб. работе по курсу «Автоматика и управление» / сост. *И.Е. Давыдов*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 24 с.

В данных методических указаниях содержится методика выполнения лабораторной работы по курсу «Автоматика и управление», связанной с изучением конструкции, принципом работы и экспериментальным определением статической, динамической и частотной характеристик рулевой машины.

Настоящие методические указания к лабораторной работе по курсу «Автоматика и управление» предназначены для студентов, обучающихся по специальности 160903 – «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов».

УДК 629.78

* *
* *

Цель работы: Ознакомление студентов с конструктивным исполнением и принципом работы рулевой машины (РМ), а также с методикой проведения статических, динамических и частотных испытаний для экспериментального определения математической модели.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для изучения характеристик РМ предложена следующая последовательность выполнения этапов работы:

1. Ознакомление с конструктивным исполнением и принципом работы рулевой машины.
2. Ознакомление с методикой проведения статических и динамических испытаний.
3. Снятие экспериментальной переходной и статической характеристик РМ.
4. Проведение частотных испытаний РМ.
5. Обработка результатов испытаний и получение математической модели РМ.
6. Подготовка отчета по лабораторной работе на стандартном бланке.
7. Сдача зачета по лабораторной работе.

Продолжительность лабораторной работы составляет 2 часа: первый час отводится для выполнения пунктов 1 – 3, второй час – на выполнение пунктов 4 – 7.

1. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ РУЛЕВЫХ МАШИН

Рулевые машины применяются в системах управления (СУ) в качестве исполнительных элементов. В зависимости от типа летательного аппарата (ЛА) и решаемой им задачи РМ являются силовыми приводами аэродинамических рулей, поворотных рулевых или основных двигателей ЛА.

Применяемые в системах управления пневматические, гидравлические, электрические, электрогидравлические и другие типы РМ являются инерционными элементами. При проектировании систем управления ЛА необходимо знать математическую модель РМ как динамического звена. Это вызвано тем, что РМ является «индивидуальным» звеном СУ. Если остальные звенья СУ для различных ЛА могут быть унифицированы, то РМ такой унификации не поддаются – вызвано целесообразным подбором исполнительных элементов для различных ЛА.

По своему назначению в системах управления рулевые машины являются преобразователями электрического сигнала (напряжения) с усилителя или вычислительного устройства СУ в пропорциональный этому напряжению угол поворота вала РМ, а через соответствующую кинематику и в угол поворота аэродинамических рулей ЛА, рулевых или основных двигателей.

Принцип работы и конструктивное исполнение РМ определяются условиями эксплуатации, требованию по быстродействию и силовому моменту на выходном валу. Наибольшее распространение получили электрогидравлические РМ, управление которыми осуществляется электрическими сигналами, а силовые функции обеспечиваются средствами гидравлики. На рис. 1 приведена принципиальная схема электрогидравлической РМ.

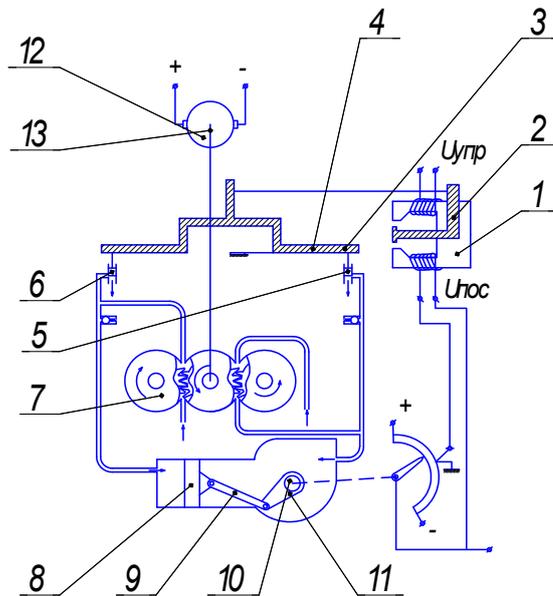


Рис. 1. Принципиальная схема РМ

Шестеренчатый насос 7 приводится во вращение электродвигателем 12 через вал 13. Рабочая жидкость по двум каналам нагнетается в полость высокого давления (цилиндр), разделенного поршнем 8. Золотниковый распределитель 3, подвешенный на пластинчатой пружине 4, перемещаясь, изменяет проходное сечение перепускных отверстий с помощью поршней 5 и 6.

При поступлении на поляризованное реле 1 командного напряжения (соответствующего по величине и знаку требуемому положению рулей), имеющего обмотку управления и обмотку обратной связи (магнитные потоки обмоток имеют противоположное направление), коромысло 2 начинает изменять свое положение в соответствии с направлением суммарного магнитного потока. Перемещение коромысла 2, соединенного с золотниковым распределителем 3, приводит к его отклонению. При этом проходное отверстие одного перепускного отверстия увеличивается, а другого уменьшается. Соответственно изменяется расход масла через отверстия. Давление в одной из сторон ци-

цилиндра начинает возрастать, а в другой падать. Поршень 8 начнет двигаться в сторону с меньшим давлением, и через шатун 9 и кривошип 10 поворачивает выходной вал РМ 11, который связан с рулями ЛА и потенциометром обратной связи (ПОС) 14. Сигнал с ПОС 14, соответствующий по величине и знаку действительному угловому положению рулей, поступит на обмотку обратной связи поляризованного реле 1. Перемещение рабочего поршня 8 будет происходить до тех пор, пока магнитные потоки на обмотке управления и обмотке ПОС не скомпенсируют друг друга.

Конструктивное исполнение рулевой машины показано на рис. 2.

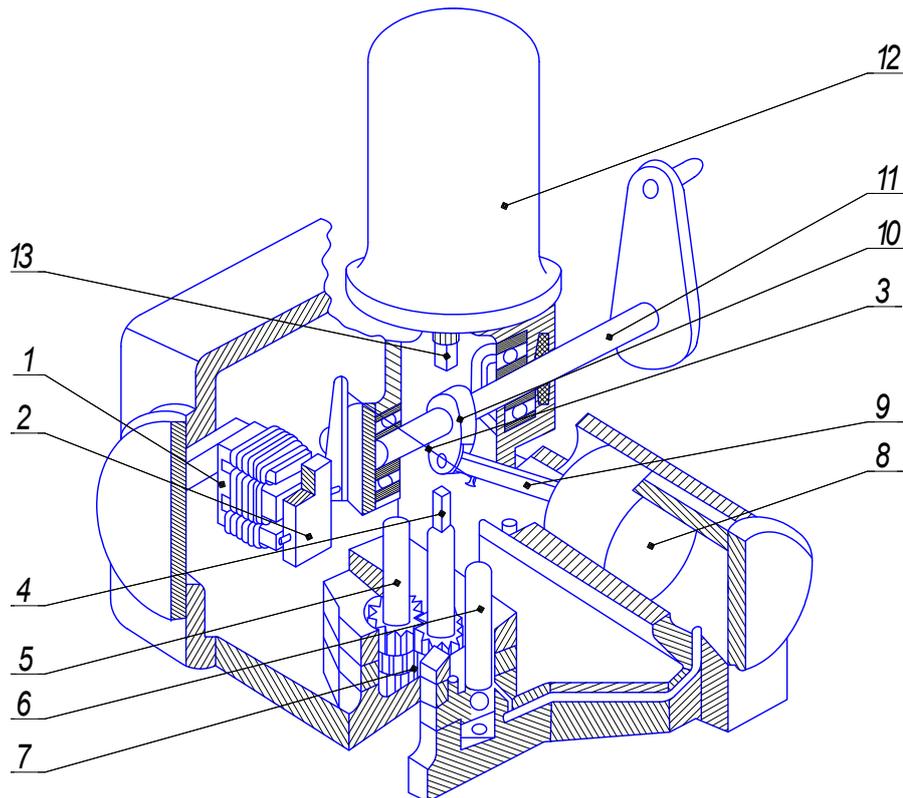


Рис. 2. Конструктивное исполнение РМ

2. СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛЕВОЙ МАШИНЫ

В лабораторной работе используется электрогидравлическая РМ, управление которой осуществляется электрическими сигналами, а силовые функции обеспечиваются средствами гидравлики [1].

Для ознакомления с конструктивным исполнением и принципом работы рулевой машины по курсу «Автоматика и управление» применяется компьютеризированный стенд, представленный на рис. 3. Лабораторный стенд для динамических и статических испытаний РМ состоит из блока питания (БП) 1, электрогидравлической рулевой машины 2 (РМ 8Л69) и персонального компьютера 3 (ПК).



Рис. 3. Компьютеризированный лабораторный стенд

На рис. 4 представлена блок-схема лабораторного стенда.

Блок питания 1 предназначен для обеспечения питания электродвигателя и обмоток поляризованного реле. В состав блока питания входит блок управления (БУ). Блок управления включает в свой со-

став 8-разрядный микроконтроллер, аналогово-цифровой преобразователь (входит в состав микроконтроллера), цифроаналоговый преобразователь, операционный усилитель, электромагнитное реле, «обвязку». Блок управления формирует управляющий сигнал для РМ в соответствии с заложенным алгоритмом и командами управления от ПК, а также обеспечивает передачу сигнала от РМ к ПК. Взаимодействие персонального компьютера и блока управления осуществляется посредством последовательного интерфейса RS – 232.



Рис. 4. Блок-схема лабораторного стенда

Для микроконтроллера платы управления разработана программа, определяющая алгоритм формирования управляющего сигнала от ПК к РМ. Программа создана с использованием среды разработки Code-Vision AVR.

Передняя панель блока питания представлена на рис. 5.

На переднюю панель БП выведены следующие индикаторы:

- «Питание схемы», информирует о исправности цепи в блоке контроллера;
- «Питание двигателя», информирует о подаче напряжения на обмотку электромотора 12 (рис.1, 2);
- «Сигнал «РМ-ЭВМ» - тестовый сигнал, информирует о исправности соединения (связи) между БП и ПК;
- тумблер «Сеть» (с индикатором), обеспечивает подачу питания на блок питания и РМ.



Рис. 5. Передняя панель блока питания

Принцип действия и конструктивное исполнение рулевой машины 2 (рис.3) приведены в разд. 1. В лабораторном стенде на корпус 1 РМ для визуального определения угла отклонения выходного вала 2 установлена шкала 3 с градуировкой от «минус» 50 до «плюс» 50 градусов, а на выходном вале РМ жестко закреплена стрелка для отсчета углового положения (рис.6).

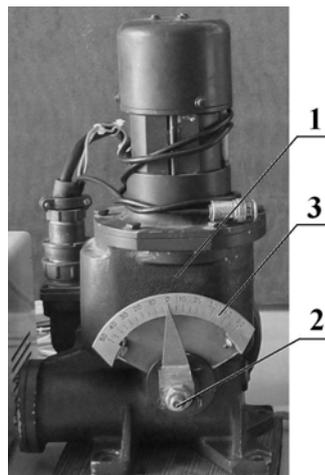


Рис. 6. Шкала отклонения угла поворота выходного вала РМ

На персональном компьютере 3 (см. рис. 3) установлена программа интерфейса «Control_Dynamic.exe». Она обеспечивает задание управляющего сигнала с выбранной частотой, обработку выходного сигнала РМ, пропорционального углу поворота выходного вала РМ, управление и визуализацию результатов работы РМ на мониторе компьютера. На рис. 7 представлено окно программы «Control_Dynamic.exe» при запуске. Программа написана с использованием среды разработки Delphi.



Рис. 7. Окно программы интерфейса «Control_Dynamic.exe» при запуске

На стенде выполняются следующие эксперименты:

1. Определение статических свойств рулевой машины;
2. Определение переходных характеристик рулевой машины;
3. Проведение частотных испытаний рулевой машины.

Проведение заданного эксперимента осуществляется нажатием на соответствующую «иконку» в окне программы.

Выход из программы осуществляется нажатием на кнопку , расположенную в верхнем правом углу окна программы (рис.7).

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В процессе испытаний на вход РМ подается типовой управляющий сигнал. В качестве типового сигнала используются ступенчатое, импульсное и гармоническое входные управляющие воздействия.

Выходным параметром РМ является угол поворота выходного вала РМ. Контроль выходного параметра РМ (угла поворота вала) осуществляется измерением угла поворота вала по установленной для этих целей на РМ шкале и путем контроля напряжения с потенциометра обратной связи, установленного на выходном валу РМ.

При статических испытаниях РМ на вход подаются различные по величине и знаку напряжения, для каждого фиксированного входного управляющего напряжения замеряется угол поворота выходного вала РМ. По результатам статических испытаний строится статическая характеристика РМ и определяется коэффициент усиления РМ. Статическая характеристика рулевой машины приведена на рис. 8. Размерность коэффициента передачи РМ – градус на вольт (град/В).

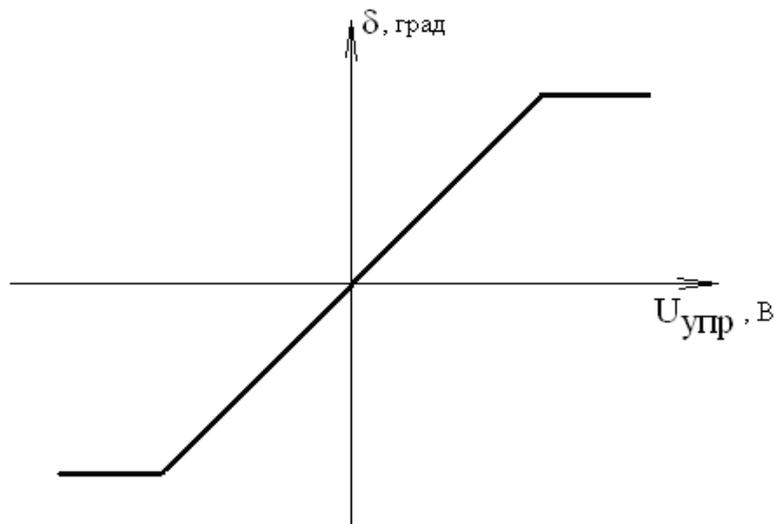


Рис. 8. Статическая характеристика РМ

Для снятия переходной характеристики РМ входное управляющее напряжение должно изменяться по ступенчатому закону. Реакция РМ на ступенчатый входной сигнал, т. е. зависимость угла поворота выходного вала РМ от времени $\delta(t)$, представляет собой переходную характеристику РМ. Угол поворота вала РМ контролируется по напряжению с потенциометра обратной связи, установленного на выходном валу РМ.

При частотных испытаниях РМ входное управляющее напряжение изменяется по гармоническому закону. Закон изменения угла поворота выходного вала РМ по времени имеет гармонический характер. Для каждого фиксированного значения частоты входного управляющего напряжения (0.1 ÷ 10 Гц) измеряется отношение амплитуд и фазовый сдвиг угла поворота выходного вала РМ и управляющего напряжения. Контроль угла поворота вала РМ осуществляется по напряжению с потенциометра обратной связи РМ.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1. Определение статических свойств рулевой машины

Для проведения исследований на компьютеризированном стенде необходимо:

1. Включить блок питания и ПК.
2. Запустить программу «Control_Dynamic.exe».

При запуске программы на экране монитора появится окно программы (см. рис.7).

Для определения статических свойств рулевой машины на экране монитора нажать клавишу «Часть 1. Определение статических свойств рулевой машины». В результате на экране монитора высветится окно программы, как представлено на рис. 9.

Окно программы при исследовании статических свойств состоит из трех функциональных частей (1 - «Исходные данные», 2 – «График» и 3 – «Таблица»).

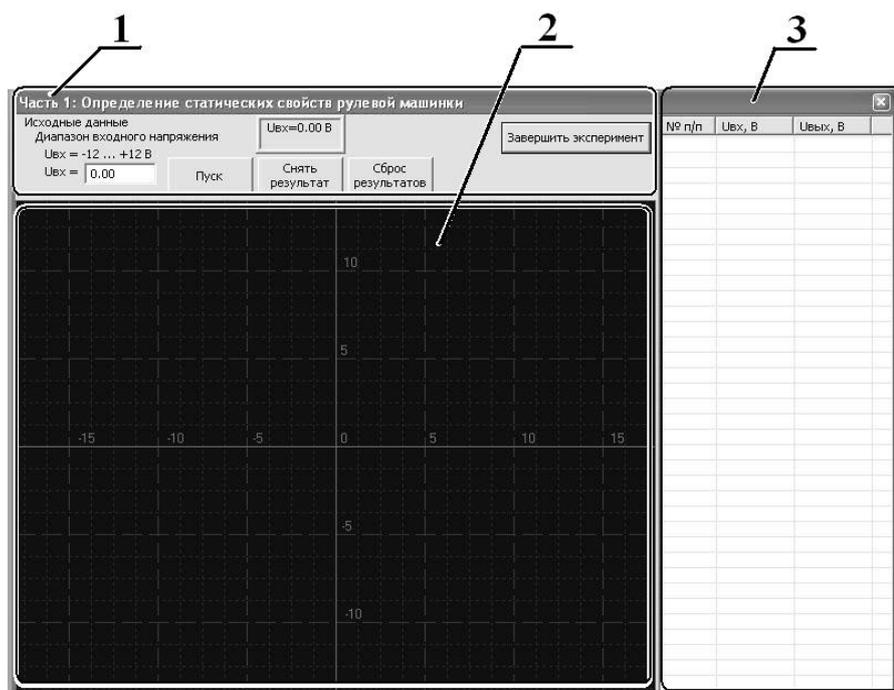


Рис. 9. Окно программы при исследовании статических свойств РМ

Блок исходных данных содержит:

1. Название эксперимента.
2. Диапазон допустимых значений входного напряжения, ограниченный зоной насыщения РМ по напряжению (рис.8)
3. Окно ввода входного напряжения « $U_{вх}=\Rightarrow$ ».
4. Клавишу «Пуск», для передачи сигнала на управляющую обмотку поляризованного реле РМ.
5. Клавишу «Снять результат», для отображения сигнала угла отклонения выходного вала РМ в графическом и табличном видах.
6. Клавишу «Сброс результатов», для сброса результатов эксперимента.

7. Клавишу «Завершить эксперимент», для выхода из эксперимента.

Блок «График» служит для визуализации результатов эксперимента в графическом виде. Идентичен графику статической характеристики РМ (рис. 8).

Блок «Таблица» содержит таблицу результатов эксперимента (входное и выходное напряжения).

В данном окне (рис.9) последовательно в блок исходных данных, в окно «Uвх=» вводится значение напряжения от «-» 12В до «+»12В. При нажатии клавиши «Пуск» программа (через блок управления) подает напряжение на обмотку управления поляризованного реле РМ. В соответствии со значением и знаком напряжения вал РМ отклоняется на соответствующий напряжению угол. Отклонение угла отклонения вала контролируется на шкале, установленной на РМ, и на экране монитора строится статическая характеристика РМ. Для занесения результатов в таблицу необходимо нажать клавишу «Снять результат».

Эксперимент повторяется необходимое количество раз, для получения полной картины отклонения вала при различных задающих напряжениях. По результатам статических испытаний построить статическую характеристику РМ (см. рис. 8) и определить коэффициент усиления РМ. Размерность коэффициента усиления РМ – градус на вольт (град/В).

Для выхода из режима необходимо нажать клавишу «Завершить эксперимент».

4.2. Определение переходной характеристики рулевой машины

Для определения переходной характеристики рулевой машины на экране монитора (см. рис.7) нужно нажать клавишу «Часть 2. Определение переходных характеристик рулевой машины». В результате чего на экране монитора появится следующее окно программы, представленное на рис. 10.

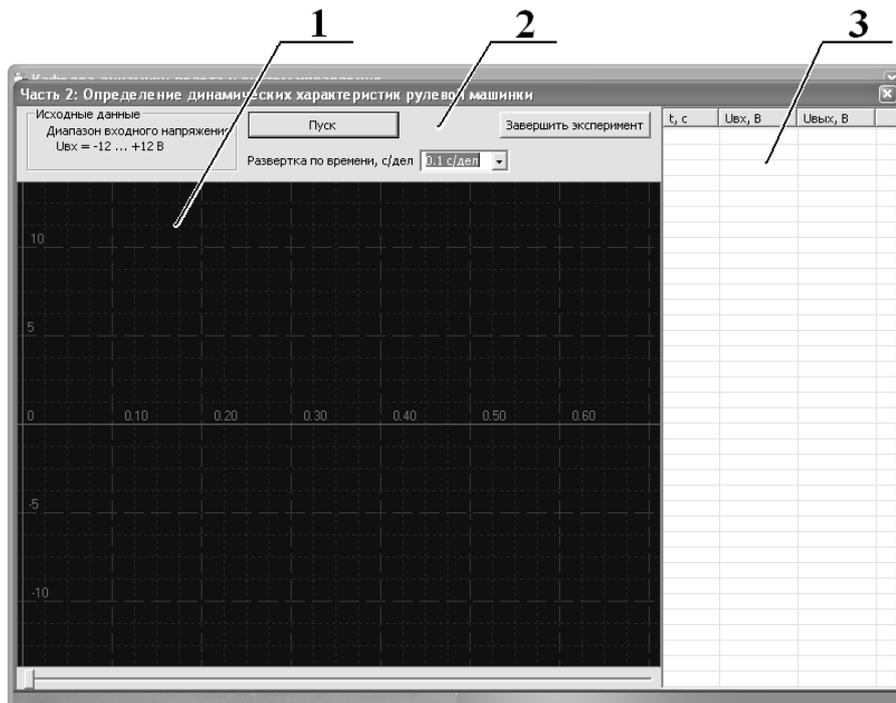


Рис. 10. Определение переходных характеристик РМ

Окно программы при исследовании статических свойств состоит из трех функциональных частей (1 – «Исходные данные», 2 – «График» и 3 – «Таблица»).

Блок исходных данных содержит:

1. Название эксперимента.
2. Диапазон допустимых значений входного напряжения, ограниченный зоной насыщения РМ по напряжению (рис.8).
3. Клавишу «Пуск», для передачи сигнала на управляющую обмотку поляризованного реле РМ.
4. Окно выбора «Развертка по времени», для выбора масштаба построения графика переходного процесса.
5. Клавишу «Завершить эксперимент», для выхода из эксперимента.

Блок «График» служит для визуализации результатов эксперимента в графическом виде. Блок «Таблица» содержит таблицу результатов эксперимента (время, входное и выходное напряжения).

Для проведения эксперимента по определению переходных характеристик РМ необходимо:

– задать масштаб по оси абсцисс, выбрав из списка предложенный масштаб (окно «Развертка по времени»);

– нажать на клавишу «Пуск».

Программа, через блок управления, на обмотку управления РМ подаст через одну секунду постоянное напряжение (ступенчатое воздействие), равное 12 В. На экран монитора будут выведены напряжение управляющего сигнала и напряжение с потенциометра. Поворот угла отклонения вала контролируется на шкале, установленной на корпусе РМ, и на экране монитора строится реакция РМ на ступенчатый входной сигнал.

Значения результатов эксперимента заносятся в таблицу. По результатам расчетов определить параметры передаточной функции (рис.11): коэффициент усиления k , постоянную времени T .

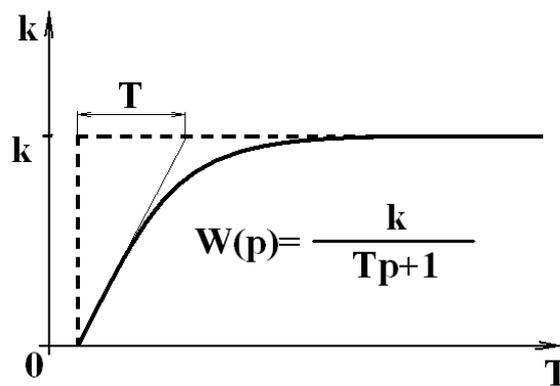


Рис. 11. Передаточная функция РМ

Определив параметры передаточной функции РМ (k, T), постройте амплитудную $A(\omega)$ и фазовую $\varphi(\omega)$ частотные характеристики РМ, согласно приведенным уравнениям, в диапазоне частот (ω) от 0,1 до 10 Гц.

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}};$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg(\omega T).$$

Результаты испытаний свести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Определение переходной характеристики рулевой машины

$f,$ Гц	$\omega,$ с ⁻¹	$lg \omega,$ дек.	$A(\omega)$	$20lg A(\omega),$ дБ
0,1				
0,15				
0,22				
...				
10				

Учитывая, что частотные характеристики РМ строятся в логарифмическом масштабе, при выборе фиксированных значений частот входного сигнала желательно, чтобы они отличались на постоянный множитель. При этом шаг изменения частоты в логарифмическом масштабе будет постоянным. Рекомендуемое значение этого множителя 1,5.

Для выхода из режима необходимо нажать клавишу «Завершить эксперимент».

4.3. Проведение частотных испытаний рулевой машины

Для проведения частотных испытаний рулевой машины на экране монитора (см. рис.7) нужно нажать клавишу «Часть 3. Проведение частотных испытаний рулевой машины». В результате чего на экран монитора будет выведено окно программы, см. рис. 12.

Окно программы при исследовании статических свойств состоит из трех функциональных частей (1 - «Исходные данные», 2 – «График» и 3 – «Таблица»).

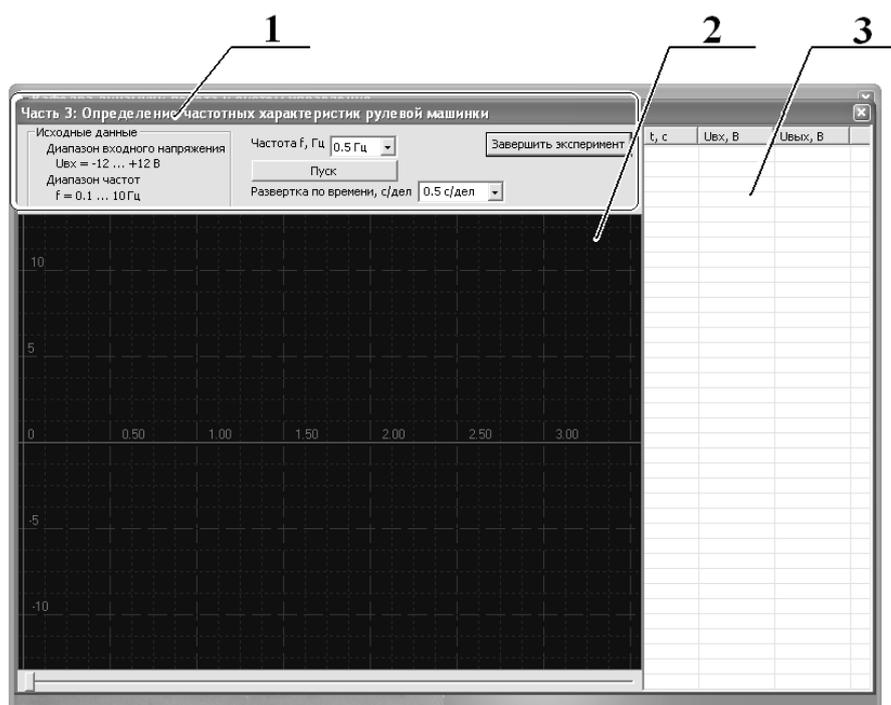


Рис. 12. Окно программы при проведении частотных испытаний РМ

Блок исходных данных содержит:

1. Название эксперимента.

2. Диапазон допустимых значений входного напряжения, ограниченный зоной насыщения РМ по напряжению (рис.8).
3. Диапазон рабочих частот РМ (от 0,1 до 10 Гц).
4. Окно ввода заданной частоты «Частота f , Гц».
5. Клавишу «Пуск», для передачи сигнала на управляющую обмотку поляризованного реле РМ.
6. Окно «Развертка по времени», для выбора масштаба построения графика переходного процесса по оси абсцисс.
7. Клавишу «Сброс результатов», для сброса результатов эксперимента.
8. Клавишу «Завершить эксперимент», для выхода из эксперимента.

Блок «График» служит для визуализации результатов эксперимента в графическом виде.

Блок «Таблица» содержит таблицу результатов эксперимента (входное и выходное напряжения).

В данном эксперименте на вход управляющей обмотки РМ подается напряжение с амплитудой, равной $\pm 12\text{В}$ и частотой от 0,1 Гц до 10 Гц.

При проведении эксперимента соблюдайте следующую последовательность действий:

1. В окне «Частота f , Гц» задайте рабочую частоту, равную 0,1 Гц.
2. В окне «Развертка по времени, с/дел.» выберите масштаб по оси абсцисс.
3. Нажмите клавишу «Пуск». Программа через плату управления будет моделировать и передавать на управляющую обмотку РМ синусоидальный сигнал с заданной амплитудой и частотой, а также принимать с обмотки обратной связи напряжение,

пропорциональное углу отклонения управляющего вала РМ. Результаты эксперимента выводятся на экран монитора как в табличном виде, так и в виде графика.

4. Запишите значения амплитуд входного $A_{вх}(\omega)$ и выходного сигналов $A_{вых}(\omega)$, а также смещение фаз данных сигналов $\varphi(\omega)$ (рис.13).

Отношение амплитуд $A(\omega)$ и фазовый сдвиг $\varphi(\omega)$ для каждого фиксированного значения частоты рассчитываются по формулам:

$$A(\omega) = \frac{2A_{вых}(\omega)}{2A_{вх}(\omega)},$$

$$\phi(\omega) = 360^\circ \frac{l(\omega)}{L(\omega)} = 180^\circ \frac{l(\omega)}{L(\omega)/2}.$$

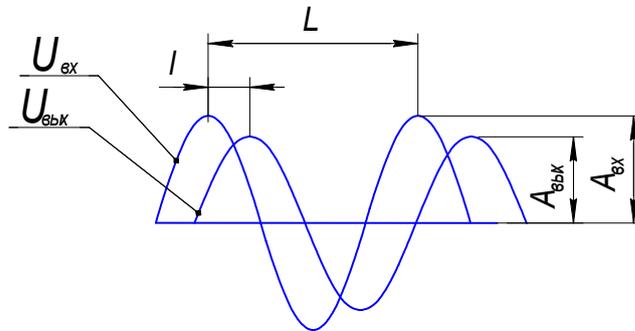


Рис. 13. Отношение амплитуд и фазовый сдвиг на выбранной частоте

5. Выберите следующую частоту из списка в окне «Частота f, Гц».
6. Повторите пункты 1 – 6 до достижения рабочей частоты, равной 10 Гц.

Результаты испытаний свести в табл. 4.2.

Частотные испытания рулевой машины

f , Гц	ω , с ⁻¹	$lg \omega$, дек.	$A_{вх}(\omega)$, В	$A_{вых}(\omega)$, В	$A(\omega)$, В	$20lg A(\omega)$, дБ	$l(\omega)$	$L(\omega)$	$\varphi(\omega)$
0,1									
0,15									
...									
9									

Для выхода из режима – нажать клавишу «Завершить эксперимент».

Получив картину изменения отношения амплитуд $A(\omega)$ и фазового сдвига $\varphi(\omega)$ в выбранном диапазоне частот (от 0,1 до 10 Гц), проведите следующий анализ:

- сравните графики амплитудных $A(\omega)$ и частотных характеристик $\varphi(\omega)$ РМ, полученные из данного эксперимента (табл. 4.2) и при определении переходной характеристики рулевой машины;
 - постройте экспериментальные ЛАЧХ и ЛФЧХ рулевой машины.
- По завершении эксперимента подготовить отчет.

5. ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Типы РМ, применяемых в системах управления ЛА.
2. Принцип работы РМ.
3. Конструктивное исполнение РМ.
4. Принцип работы лабораторного стенда.
5. Методика проведения статических испытаний РМ.
6. Методика определения переходных характеристик РМ.
7. Методика проведения частотных испытаний РМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душин, С.Е. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев. – М.: Высш. шк., 2005. – 567с.
2. Основы управления полетом космических аппаратов: учеб. пособие для вузов / – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 480 с.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ**

Методические указания к лабораторной работе

Составитель *Давыдов Игорь Евгеньевич*

Редактор Л. Я. Ч е г о д а е в а
Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 23.06.08. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 1,5.

Тираж 50 экз. Заказ . Арт. С-53/2008.

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

