

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра автоматике и
вычислительной техники**

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСР

*Методические указания к выполнению
лабораторных работ
по курсу "Теория автоматического управления"*

Мурманск

2007

УДК 681.521.2:621.313.13.024 (076.5)

ББК 32.965

И-89

Составители: Маслов Алексей Алексеевич, к.т.н., профессор кафедры автоматике и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета;
Яценко Виктория Владимировна, старший преподаватель той же кафедры

Издаются в авторском исполнении без редакторской правки

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой
«25» апреля 2007г., протокол № 4

Рецензент – Висков Андрей Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры автоматике и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета

ИЗУЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ "АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА"

1 Цель работы

Изучение функционального назначения элементов системы.

2. Описание лабораторного стенда

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки АСР частоты вращения двигателя постоянного тока приведена на рисунке 1.

Лабораторная установка представляет собой автоматическую систему регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока.

Лабораторный стенд "Исследование автоматической системы регулирования (АСР) частоты вращения двигателя постоянного тока" является технической базой для выполнения следующих лабораторных работ:

- "Исследование статических свойств АСР частоты вращения двигателя постоянного тока";
- "Исследование влияния передаточного коэффициента регулятора на величину статизма АСР частоты вращения двигателя постоянного тока";
- "Исследование динамических свойств АСР частоты вращения двигателя постоянного тока";
- "Настройка АСР частоты вращения двигателя постоянного тока с помощью пассивных корректирующих элементов".

Объектом регулирования является двигатель постоянного тока M_2 , регулируемым параметром – частота вращения двигателя.

Основным возмущающим воздействием, действующим на объект, является момент сопротивления вращению двигателя, создаваемый генератором G_2 , вал которого соединен с валом двигателя. Величина возмущаю-

щего воздействия зависит от тока нагрузки генератора, который регулируется потенциометром R_5 .

Чувствительным элементом, реагирующим на отклонение частоты вращения двигателя, является тахогенератор G_3 .

Задающим элементом является потенциометр R_7 , на который поступает опорное напряжение от блока питания БП +12 В.

В качестве исполнительного элемента служит электромашинный усилитель (ЭМУ) G_1 . Усилительным элементом является усилитель постоянного тока УПТ, коэффициент которого регулируется потенциометром R_1 .

Элемент G_3 образует главную обратную связь по частоте вращения двигателя постоянного тока.

В данной АСР имеется местная обратная связь, которая представляет собой отрицательную гибкую обратную связь по напряжению на якоре ЭМУ G_1 и образована RC -цепью, состоящей из конденсатора C_4 , резистора R_4 и потенциометра R_3 . Подключение местной обратной связи осуществляется ключом S_7 (рисунок 1).

На базе УПТ с помощью ключей S_3 и S_5 можно набрать пропорциональное, интегрирующее и дифференцирующее звенья. Это позволяет реализовать пропорциональный (П), пропорционально-интегрирующий (ПИ), пропорционально-дифференцирующий (ПД), пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) законы регулирования. Для включения в закон регулирования И-составляющей необходимо ключ S_3 перевести в положение "1", Д-составляющей – ключ S_5 перевести в положение "1".

В схеме установки предусмотрено включение последовательного корректирующего устройства (ПКУ), элементы которого предоставлены в правой части стенда и подключаются к АСР через клеммы А, В, С.

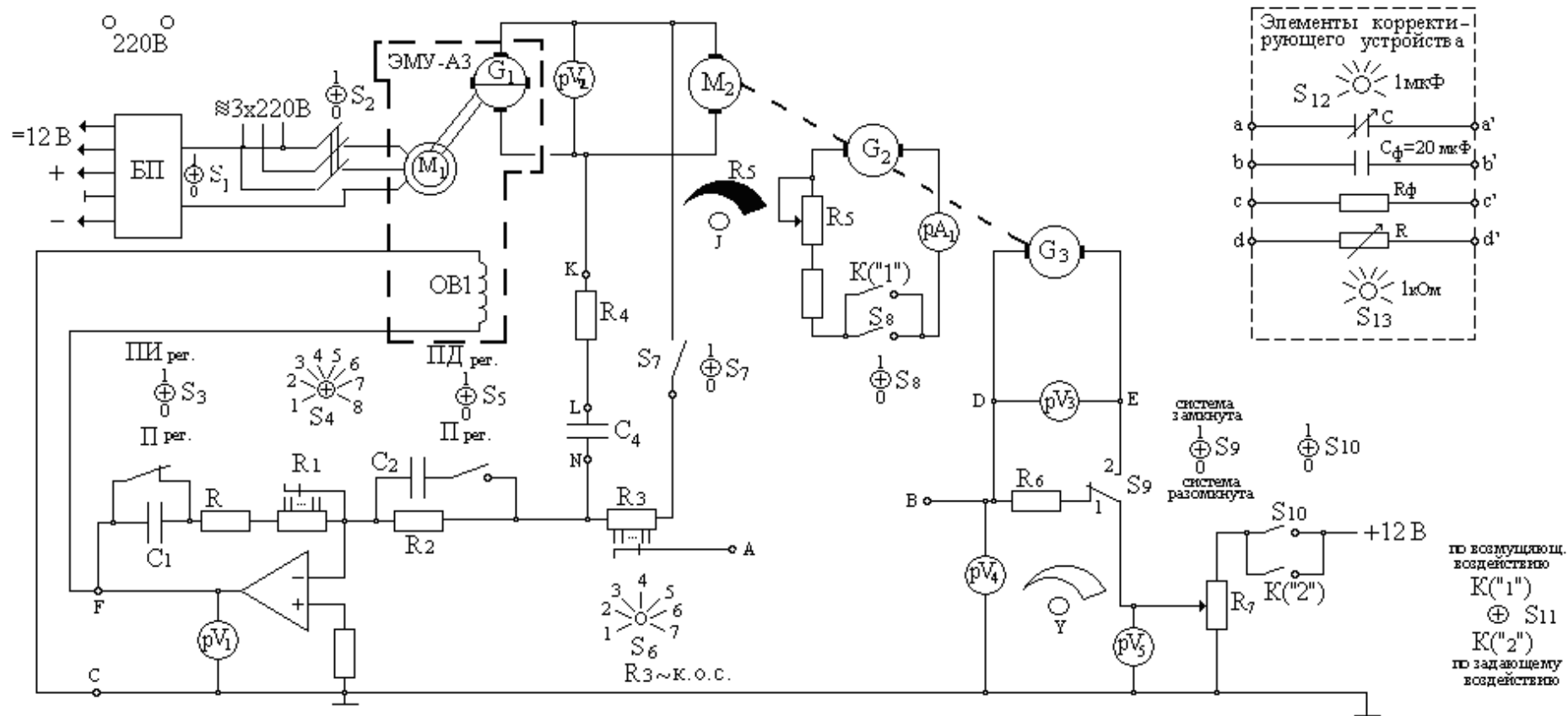


Рис. 1 Принципиальная схема АСР частоты вращения двигателя постоянного тока.

Блок питания БП обеспечивает питание (постоянным стабилизированным напряжением) обмотки возбуждения двигателя, генератора и тахогенератора, задающего устройства и УПТ.

На стенде лабораторной установки имеется ряд ключей и переключателей, которые позволяют:

S_1 – подать питание на БП;

S_2 – включить приводной двигатель M_1 ЭМУ;

S_3 и S_5 – реализовать определенный тип регулятора;

S_6 – изменить коэффициент местной обратной связи;

S_7 – подключить местную гибкую обратную связь по напряжению ЭМУ;

S_8 – подключить возмущающее воздействие;

S_9 – подключить главную обратную связь (замкнуть систему) или отключить ее (разомкнуть систему);

S_{10} – обеспечить питание задающего элемента R_7 с БП;

S_{11} – исследовать переходные процессы системы по задающему и возмущающему воздействию путем подачи ступенчатого сигнала на задающий элемент R_7 или на объект управления M_2 через контакты поляризованного реле К.2 и К.1, встроенного в стенд;

S_{12} и S_{13} – изменить величину емкости C и сопротивления R элементов корректирующего устройства.

Необходимые для выполнения лабораторной работы параметры (вход-выход отдельных элементов и системы) контролируются приборами:

pV_1 – измеряет выходную величину напряжения УПТ (на входе ОВ1 ЭМУ);

pV_2 – измеряет выходную величину напряжения на якоре ЭМУ (на входе М2);

pV_3 – измеряет скорость двигателя постоянного тока M_2 ;

pV_4 - измеряет абсолютную величину ошибки регулирования замкнутой системы;

pV_5 – контролирует величину задающего воздействия;

pA_1 – контролирует величину возмущающего воздействия.

Передаточный коэффициент всей системы можно изменять путем регулирования коэффициента усиления УПТ переключателем S_4 .

Лабораторный стенд позволяет исследовать статический и динамический режимы работы АСР. В статическом режиме можно снять статические характеристики по задающему воздействию каждого элемента и всей системы, а также статическую характеристику всей системы по возмущающему воздействию и выяснить, как влияют величина передаточного коэффициента разомкнутой системы и структуры регулятора на статическую точность АСР.

3. Вопросы для самопроверки

3.1. Какие режимы работы можно исследовать на данном лабораторном стенде?

3.2. Какой элемент данной АСР является:

- объектом управления;
- чувствительным элементом;
- элементом сравнения;
- задающим элементом;
- регулятором;
- исполнительным элементом;
- формирователем возмущающего воздействия?

3.3. Какие элементы АСР образуют

- главную обратную связь;
- местную обратную связь?

3.4. Как подключается местная обратная связь?

3.5. Как сделать систему замкнутой, разомкнутой?

3.6. Как выглядит принципиальная электрическая схема:

- П - регулятора;
- ПД - регулятора;
- ПИД - регулятора?

3.7. Для чего в схеме используются переключатели и ключи?

3.8. Какими приборами необходимо пользоваться, чтобы снять статическую характеристику по задающему воздействию:

- объекта управления;
- чувствительного элемента;
- регулятора;
- исполнительного элемента;
- автоматической системы регулирования?

3.9. В какой части лабораторного стенда подключается последовательное корректирующее устройство?

3.10. Как формируется и подается в АСР ступенчатое воздействие?

Литература:

1. Власенко, А.А., Судовая электроавтоматика./А.А.Власенко, В.А.Стражмейстер - М.: Транспорт, 1983. – С.12-31, 78-90.
2. Кринецкий, И.И. Судовая автоматика./ И.И.Кринецкий,— М. Изд-во: Пищ. пр-сть, 1978. – С.24-35, 112-114.
3. Прохоренков, А.М., Судовая автоматика: учебное пособие для ВУЗов./ А.М.Прохоренков, В.С.Солодов, Ю.Г.Татьянченко—М.: Колос, 1992: - С.69-73
4. Ключев, А.С. Автоматическое регулирование: учебник для ср.-спец. учебн. заведений./ А.С. Ключев —М: Изд-во: Энергия 1986. – С.5-16

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цели работы:

экспериментальное построение статических характеристик, определение передаточных коэффициентов элементов и всей системы, расчет статической ошибки системы.

2. Теоретические сведения

Одним из режимов работы любой системы автоматического регулирования (АСР) является установившийся режим. В свою очередь, установившийся режим может быть статическим или вынужденного установившегося движения системы.

Статическим называется режим, при котором все параметры, характеризующие поведение системы и действующие на нее внешние возмущения, не изменяются во времени, так что система находится в равновесном состоянии.

Вынужденное установившееся движение системы определяется действием установившихся детерминированных (регулярных) или случайных стационарных внешних воздействий. Из детерминированных воздействий в автоматике наиболее широко распространены гармонические воздействия.

Поведение системы в статическом режиме зависит от ее статических характеристик, которые, в свою очередь, полностью определяются статическими характеристиками входящих в систему элементов. Следовательно, одним из важных вопросов изучения АСР является построение статических характеристик элементов системы и статической характеристики системы в целом.

Статической характеристикой элемента (системы) называется зависимость выходной величины данного элемента (регулируемого параметра системы) от входной величины (задающего или возмущающего воздействия) в статическом режиме.

Для любого отдельного элемента можно выделить несколько статических характеристик в зависимости от принятых входов и выходов. Однако при рассмотрении свойств элементов в конкретной системе физическая природа его входного и выходного воздействий определена. Если обозначить входное воздействие элемента через $X_{вх}$, а его выходное воздействие через $X_{вых}$, то в общем виде статическая характеристика элемента выражается некоторой зависимостью $X_{вых} = \varphi (X_{вх})$ и может быть представлена в аналитической или графической форме. В соответствии с определением статической характеристики данную зависимость для систем можно представить в следующем виде

$$y = \varphi_1 (g) \quad (2.1)$$

или

$$y = \varphi_2 (f), \quad (2.2)$$

где y – выходная (регулируемая) величина системы;

g – задающее воздействие системы;

f – возмущающее воздействие системы.

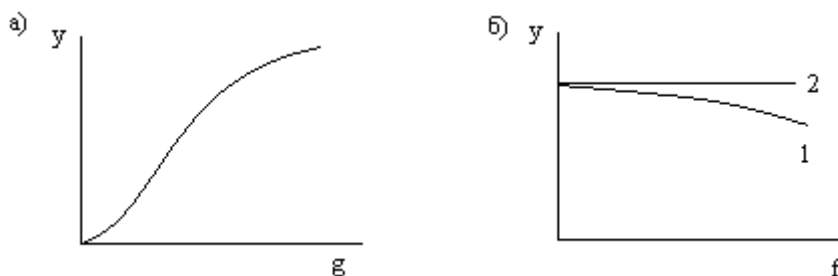


Рис. 2 Статические характеристики системы:

а - по задающему воздействию; б – по возмущающему воздействию.

Тогда зависимость (2.1) представляет собой статическую характеристику системы по задающему воздействию (рис. 2, а), а зависимость (2.2) – статическую характеристику по возмущающему воздействию (рис. 2, б).

Различают линейные и нелинейные статические характеристики элементов. Большинство элементов АСР имеют нелинейные статические характеристики. Однако для многих из них, с достаточной для практических целей точностью, нелинейные характеристики могут быть заменены линейными, т.е. линеаризованы (рис. 3, а). Замена нелинейного элемента линейной моделью существенно упрощает статический расчет элемента и системы в целом. Линеаризация статической характеристики элемента производится в окрестности точки рабочего режима данного элемента (точки $x_{вх.0}$, $x_{вых.0}$ на рис. 3, б). При этом предполагают, что в процессе работы АСР входная величина $x_{вх}$ изменяется в сравнительно небольших пределах относительно точки рабочего режима.

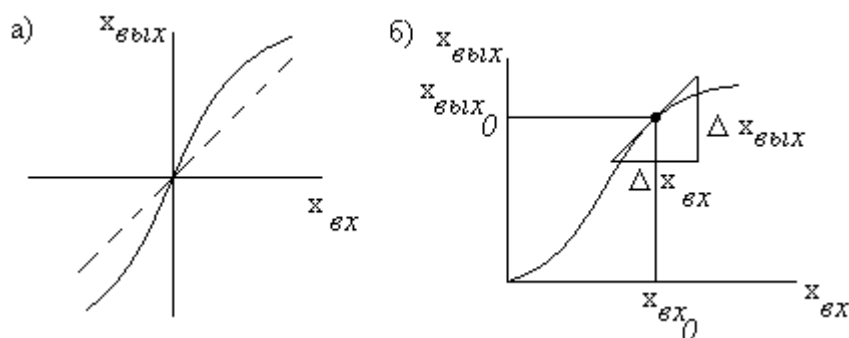


Рис.3 Линеаризация статических характеристик

Изменение входной величины $\Delta x_{вх}$ вызывает соответствующее изменение выходной величины $\Delta x_{вых}$. Геометрической интерпретацией процесса линеаризации является замена нелинейной кривой, касательной в точке, соответствующей рабочему режиму. Алгебраическая форма записи,

определяющая зависимость изменения выходной величины элемента при изменении входной, после линеаризации имеет вид

$$\Delta X_{вых} = k \cdot \Delta X_{вх} \quad (2.3)$$

и называется уравнением статики. Очевидно, что уравнения статики различных элементов АСР отличаются лишь числовым значением коэффициента k , называемого коэффициентом передачи (или передаточным коэффициентом) элемента.

Из выражения (2.3) видно, что передаточный коэффициент – это отношение приращения выходной величины к приращению входной величины элемента в установившемся режиме

$$k = \frac{\Delta X_{вых}}{\Delta X_{вх}} \quad (2.4)$$

При одинаковой физической природе, одинаковых размерностях входной и выходной величин элемента коэффициент передачи часто называют коэффициентом усиления.

Передаточные коэффициенты линейных элементов могут быть определены без построения статических характеристик по паспортным данным или по основным параметрам элемента и нагрузки. Так, передаточный коэффициент тахогенератора

$$k_{ТГ} = \frac{\Delta U}{\Delta n} = \frac{U_H + I_H r_{я}}{n_H} = \frac{r_H}{r_{я} + r_H}, \quad (2.5)$$

где U_H - номинальное напряжение генератора;

n_H - номинальные обороты;

I_H - номинальный ток нагрузки;

$r_{я}$ - сопротивление якоря;

r_H - сопротивление нагрузки

Передаточные коэффициенты элементов могут выражаться посредством абсолютных значений выходной и входной величин с соответствующими размерностями. В этом случае передаточный коэффициент в общем случае также является размерной величиной. Но часто для определения передаточного коэффициента элемента используют относительные величины $\Delta X_{вх}$ и $\Delta X_{вых}$, для чего приращение входной и выходной величин делят на соответствующие значения этих величин, выбранные в качестве базисных, т.е.

$$\Delta X_{вх}^* = \frac{\Delta X_{вх}}{\Delta X_{вх\bar{0}}}; \quad \Delta X_{вых}^* = \frac{\Delta X_{вых}}{\Delta X_{вых\bar{0}}}.$$

Передаточные функции в этом случае всегда являются безразмерными величинами.

Любая автоматическая система состоит из связанных определенным образом между собой элементов (звеньев), причем свойства системы определяются не только свойствами отдельных звеньев, но и характером их взаимосвязей. Поэтому, зная передаточные коэффициенты отдельных звеньев, можно определить передаточные коэффициенты разомкнутой и замкнутой систем, выполнив перед этим (при необходимости) эквивалентные преобразования структурной схемы АСР.

По поведению в установившемся режиме автоматические системы делят на статические и астатические. Автоматическая система называется статической, если регулируемая величина в установившемся режиме зависит от величины возмущающего воздействия (кривая 1 на рис. 2, б). Автоматическая система называется астатической, если регулируемая величина в установившемся режиме не зависит от величины возмущающего воздействия (кривая 2 на рис. 2., б).

Основным требованием к АСР при работе ее в статическом режиме является обеспечение необходимой статической точности. Точность АСР в

установившемся режиме характеризуется относительными ошибками системы при различных воздействиях:

S_f - относительной статической ошибкой системы по возмущающему воздействию;

S_e - относительной статической ошибкой системы по задающему воздействию.

Статической ошибкой АСР называется разность между заданным значением регулируемой величины и ее действительным значением.

Статические системы работают с ошибкой. Статическая ошибка в астатических системах равна нулю.

Статическая ошибка регулирования по возмущающему воздействию для статических систем связана с передаточным коэффициентом разомкнутой системы следующим соотношением

$$S_f = \frac{k_f}{1+k_{p.c.}}, \quad (2.6)$$

где k_f - передаточный коэффициент объекта по возмущающему воздействию;

$k_{p.c.}$ - передаточный коэффициент разомкнутой системы.

Статическая ошибка системы по задающему воздействию рассчитывается по формуле

$$S_e = \frac{1}{1+k_{p.c.}} \quad (2.7)$$

Таким образом, зная передаточный коэффициент разомкнутой системы, можно определить во сколько раз уменьшится S_e и S_f при увеличении $k_{p.c.}$, который равен: $k_{p.c.} = k_{рег} \cdot k_{об}$ (рис. 4).

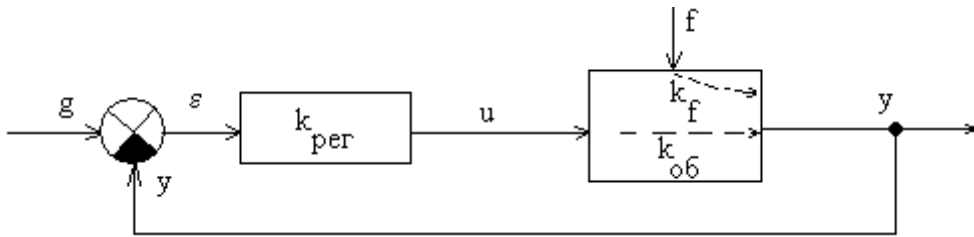


Рис.4 Общая функциональная схема АСР

Однако при увеличении коэффициента усиления разомкнутой системы уменьшается её запас устойчивости и при $k_{p.c.} \geq k_{крит}$ система становится неустойчивой. Поэтому при выборе передаточного коэффициента $k_{p.c.}$ приходится находить компромиссное решение для обеспечения статической точности и необходимого запаса устойчивости системы. Передаточный коэффициент объекта, как правило, трудно изменить, поэтому необходимая величина передаточного коэффициента разомкнутой системы обеспечивается выбором величины передаточного коэффициента регулятора.

Ошибку системы по задающему воздействию можно определить и непосредственным измерением величины ε (рис. 4), отнесенной к задающему воздействию g

$$S_e = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta g} \quad (2.8)$$

1. Описание лабораторной установки

Описание лабораторной установки дано в лабораторной работе "Изучение лабораторной установки "Автоматическая система регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока"".

4. Содержание лабораторной работы

В данной лабораторной работе требуется:

4.1. Снять статические характеристики следующих элементов: УПТ, ЭМУ, двигателя постоянного тока, ТГ и системы в целом.

4.2. По статическим характеристикам элементов определить передаточные коэффициенты каждого элемента в данном рабочем режиме.

4.3. Рассчитать передаточный коэффициент разомкнутой системы.

4.4. Рассчитать статическую ошибку системы по задающему воздействию и сравнить ее с величиной ошибки, непосредственно измеренной приборами.

4.5. Обеспечить заданную преподавателем статическую точность системы.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Переключателем S_9 разомкнуть систему. Поставить ключи в положение: S_4 -в "1", S_3 , S_8 , S_5 и S_7 -в "0". Потенциометр R_3 находится в положении "1", а R_7 -в крайнем левом положении.

5.2. Ключами S_1, S_2 подать питание на блок питания и асинхронный двигатель.

5.3. Увеличивая от нуля величину задающего сигнала потенциометром R_7 , снять статические характеристики (зависимости выходной величины от входной) элементов системы УПТ - $U_1 = \varphi_1(U_4)$, ЭМУ - $U_2 = \varphi_2(U_1)$, двигателя - $n = \varphi_3(U_2)$ и тахогенератора - $U_3 = \varphi_4(n)$. Показания приборов занести в таблицу.

Примечание. Прибор pV_3 имеет две шкалы, одна из которых проградуирована в оборотах в минуту, другая - в вольтах.

Результаты измерений

pV_4							
pV_3							
pV_2							
pV_1							
n							

5.4. Построить статические характеристики элементов и определить их передаточные коэффициенты в рабочей точке $n=500$ об/мин.

5.5. Определить передаточный коэффициент разомкнутой системы и рассчитать статическую ошибку по задающему воздействию по формуле (2.7)

5.6. Замкнуть систему (переключатель S_9 в положении "2").

5.7. При $n=500$ об/мин снять показания приборов pV_4 и pV_5 .

5.8. Определить по формуле (2.8) статическую ошибку системы по задающему воздействию, рассчитать и установить коэффициент усиления УПТ. Проверить полученную статическую ошибку системы по приборам.

Примечание:

в случае, если при увеличении k_y система окажется неустойчивой, ключом S_7 включить местную гибкую обратную связь по напряжению ЭМУ. Если это окажется малоэффективным, необходимо включить ключ S_5 , т.е. набрать пропорционально-дифференциальный регулятор.

6. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен включать:

- принципиальную схему установки;
- статические характеристики элементов;
- определение передаточных коэффициентов всех элементов и разомкнутой системы;

-расчет статической ошибки системы по задающему воздействию, выполненный с использованием передаточного коэффициента разомкнутой системы;

-сравнительный анализ расчетной статической ошибки системы, измеренной с помощью приборов;

-определение необходимого передаточного коэффициента системы и коэффициента усиления УПТ для обеспечения заданной статической точности системы.

7. Вопросы для самопроверки.

7.1. Какие режимы работы АСР вы знаете?

7.2. Какой режим работы АСР называется статическим? Какие параметры работы АСР определяются в статическом расчете?

7.3. Что называется статической характеристикой элемента системы? Какие виды статических характеристик вы знаете?

7.4. Для чего необходима линеаризация статических характеристик и как она производится?

7.5. Как определить эквивалентную статическую характеристику параллельного и последовательного соединения элементов?

7.6. Какой физический смысл заложен в передаточном коэффициенте элемента? Как определяются передаточные коэффициенты элементов системы?

7.7. Чем характеризуется статическая точность работы АСР? Как она зависит от передаточного коэффициента системы? Какие статические ошибки определяются при расчете АСР?

7.8. Что ограничивает повышение статической точности системы?

7.9. Можно ли на данной лабораторной установке реализовать астатический регулятор? Если можно, то каким образом?

7.10. По каким признакам классифицируются АСР?

7.11. Как определяются эквивалентные передаточные коэффициенты при последовательном, параллельном и встречно-параллельном соединении звеньев?

7.12. Как выглядит статическая характеристика данной системы по возмущающему воздействию?

Литература

1. Власенко, А.А., Судовая электроавтоматика./А.А.Власенко, В.А.Стражмейстер - М.: Транспорт, 1983. – С.12-31, 78-90.
2. Кринецкий, И.И. Судовая автоматика./ И.И.Кринецкий,– М. Изд-во: Пищ. пр-сть, 1978. – С.24-35, 112-114.
3. Прохоренков, А.М., Судовая автоматика: учебное пособие для ВУЗов./ А.М.Прохоренков, В.С.Солодов, Ю.Г.Татьянченко–М.: Колос, 1992: - С.69-73
4. Ключев, А.С. Автоматическое регулирование: учебник для ср.-спец. учебн. заведений./ А.С. Ключев –М: Изд-во: Энергия 1986. – С.5-16
5. Ключев, А.С. Автоматическое управление линейными системами/ А.С.Ключев, Е.А.Кочетков; под ред. А.С. Ключева. -М.: "Испосервис", 1999. - 192 с.: ил.
6. Теория автоматического управления/ под ред. Ю.Н. Соломенцева, - М.: Высш. шк., 1999. – С.