

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине:

«Основы автоматики и автоматизации производственных процессов в дорожном строительстве»

ГОРЛОВКА 2012

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине:

«Основы автоматики и автоматизации производственных процессов в дорожном строительстве»

(для студентов специальности 7.092105 «Автомобильные дороги и аэродромы»)

Утверждено на заседании
учебно – методической
комиссии факультета АД
Протокол №

Утверждено на заседании
кафедры СДМ и ДМ
Протокол №

горловка 2014

УДК621.3 (071)

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине:
«Основы автоматики и автоматизации производственных процессов в дорожном

строительстве» (для студентов специальности 7.092105 «Автомобильные дороги и аэродромы») / сост.: В.П.Прись, М.З.– Горловка: АДИ ДонНТУ, 2014. - с.

Составители: ст. преп. В.П.Прись

Ответственный за
выпуск:

Рецензент:

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|------------------------------|----|
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 | 6 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2..... | 16 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3..... | 24 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4..... | 3 |

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

«Автоматизация землеройно-планировочных машин при планировании дорожного полотна».

Для планирования дорожного полотна в практике строительства автомобильных дорог применяют автогрейдеры. Задача управления рабочим органом автогрейдера появилась в связи с ростом требований к точности соблюдения угла наклона отвала автогрейдера. Так, по условиям технологии, соблюдение угла наклона отвала автогрейдера не должно превышать $\Delta\alpha = \pm 0,5^\circ$. Поддержание $\Delta\alpha = \pm 0,5^\circ$ по длине дороги со стороны водителя автогрейдера практически невозможно. По данным УНИИ Минтрансстроя затраты ручного труда для окончательной доводки профиля дороги составляет около 35% общих затрат ручного труда на 1 км. дороги. Именно это обстоятельство обуславливает необходимость применения систем автоматического управления рабочими органами землеройно-планировочных машин.

В настоящей лабораторной работе рассматривается широко применяемая в практике система «Профиль-1» для стабилизации угла наклона отвала автогрейдера с гидравлическим приводом управления.

Целью настоящей лабораторной работы является:

Изучение принципа работы системы управления «Профиль-1».

Изучение структурной схемы САР «Профиль-1» и её элементов.

Изучение лабораторного стенда САР, «Профиль-1» (элементы принципиальной схемы, аппаратное оформление элементов САР).

Работа на стенде и контроль основных параметров САР.

1.1 Принцип работы системы управления «Профиль-1».

Принципиальная схема системы управления «Профиль-1» приведена на рис. 1.1.

В принципиальной схеме САР «Профиль-1» потенциометры П1 и П2 включены по мостовой схеме. Потенциометр П1 является задатчиком регулируемой величины α_3 , потенциометр П2 является датчиком фактического угла α_f наклона отвала. С потенциометра П1 снимается $U_3 \sim \alpha_3$, с потенциометра П2 - $U_{oc} \sim \alpha_f$. С диагонали моста снимается напряжение $\pm \Delta U = U_3 - U_{oc}$.

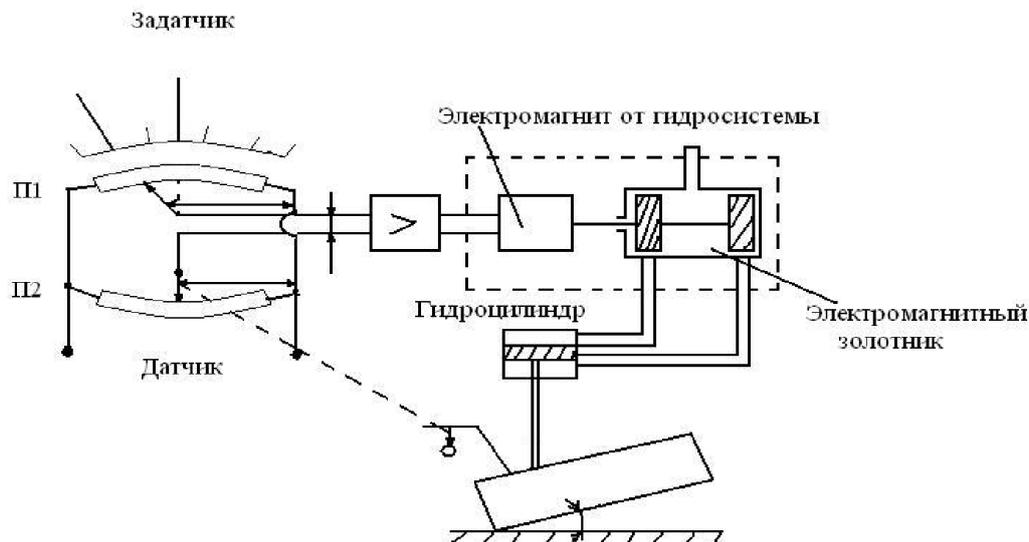


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема САР «Профиль-1»

Не трудно видеть, что величина и знак $\pm\Delta U$ будет зависеть от величины отклонения угла наклона отвала автогрейдера от заданного. Величина сигнала $\pm\Delta U$ усиливается и подаётся на электромагнит, выполняющий функцию привода исполнительного механизма, последним является электромагнитный золотник с гидроцилиндром. Электромагнитный золотник перекрывает магистрали рабочей жидкости от гидросистемы, обеспечивая подачу q (атм.) рабочей жидкости в верхнюю или нижнюю полость гидроцилиндра в зависимости от направления перемещения электромагнита, т.е. от величины и знака рассогласования $\pm K\Delta U$ (где K - коэффициент усиления усилителя). Гидроцилиндр обеспечивает перемещение h ножа (отвала) автогрейдера. Направление и величина перемещения отвала воспринимается маятниковым датчиком, установленным на отвале, до тех пор, пока величина рассогласования $\pm\Delta U$ не станет равной 0. Практически $\pm\Delta U \neq 0$ и определит величину статической ошибки, с которой система отработывает задание, т.е. $\pm\Delta\alpha = \alpha_3 - \alpha_f$. Качество регулирования определяют по величине статической ошибки $\pm\Delta\alpha$. По условиям технологии САР должна обеспечивать условие

$$|\Delta\alpha| \leq |\Delta\alpha_{зад}|.$$

В процессе регулирования в системе возникает переходной процесс стабилизации заданного α_3 угла наклона отвала. Рассматриваемая система регулирования относится к классу систем стабилизации. Как отмечалось выше, в реальных системах, элементы которой имеют определённую зону чувствительности, нелинейность в рабочих зонах характеристик элементов и т.д., статическая ошибка $\pm\Delta\alpha$ будет иметь место всегда. Поэтому работа САР считается удовлетворительной, если регулируемый параметр α_f , после окончания переходного процесса войдёт в зону устойчивых колебаний (отклонений), т.е. $\alpha_f = \alpha_3 \pm \Delta\alpha$.

1.2 Структурная схема САР «Профиль-1».

Анализ принципа работы САР «Профиль-1» позволяет привести её структурную схему, рис. 1.2.



Рисунок 1.2 - Структурная схема САР «Профиль-1»

Не останавливаясь здесь на подробном анализе структурной схемы, отметим лишь, что структурная схема определяет порядок соединения отдельных элементов САР, направление прохождения сигнала управления, тип системы регулирования. Здесь, рис. 2, указаны входные и выходные величины отдельных элементов. Отметим, что рассматриваемая САР «Профиль-1» относится к классу замкнутых систем стабилизации регулируемого параметра α . В цепи обратной связи установлен датчик контроля регулируемого параметра α . Подробное описание каждого из элементов САР, аппаратное оформление элементов с учётом лабораторного стенда приведено в следующем разделе.

1.3 Описание лабораторного стенда «Профиль-1».

При разработке лабораторного стенда использовано серийно выпускаемое оборудование системы «Профиль-1». В качестве объекта управления изготовлен макет ножа отвала автогрейдера, в качестве датчика использован маятниковый датчик углового положения отвала. Из-за невозможности практического исполнения в лабораторных условиях исполнительного механизма (электромагнитного золотника с гидроцилиндром) в лабораторном стенде исполнительный механизм заменен реверсивным двигателем постоянного тока. Остальные элементы САР «Профиль-1» сохранены в их заводском исполнении. Приведём их описание.

1.4 Задатчик.

Задатчик выполнен на резисторах R6, R7, R8, R9, R10, с помощью которых устанавливается грубая и точная установка задания. С резистора R8 снимается сигнал задатчика.

Сигнал задания $U_{\alpha 3}$ снимается с потенциометра. В работе при исследовании САР необходимо включить вольтметр на контрольные гнезда 1, 2, где можно проследить изменения $U_{\alpha 3}$. Сигнал $U_{\alpha 3}$ поступает на вход 1 блока

сравнения. На другой вход 2 поступает сигнал с датчика ДКБ, сигнал, с которого $U_{\alpha 3}$ соответствует истинному положению отвала.

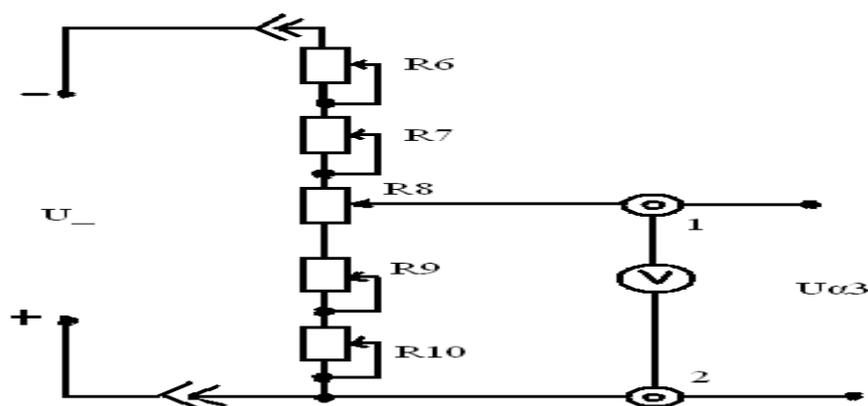


Рисунок 1.3 - Электрическая схема задатчика САР «Профиль-1»
1,2-контрольные гнёзда

1.5 Датчик.

Принципиальная электрическая схема датчика приведена на рис. 1.4.

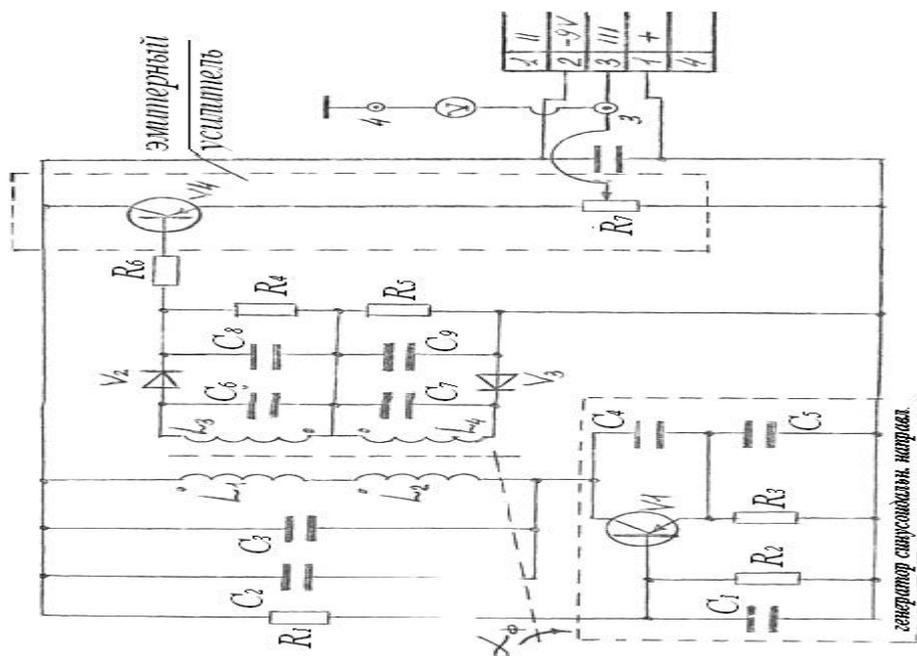


Рисунок 1.4 - Схема электрическая принципиальная датчика ДКБ

Датчик ДКБ состоит из синусоидальных колебаний (на транзисторе V1), трансформатора датчика (катушки L1, L2, L1, L2), двух выпрямителей (V2, V3), каскада усиления (V4). Датчик представляет собой дифференциальный трансформаторный датчик. Катушки L1, L2 включены последовательно согласно, а катушки L3, L4 последовательно встречно. Благодаря дифференциальной схеме

включения катушек L3, L4 датчик реагирует на направление изменения $\alpha\phi$. Вал датчика соединён с отвалом, а на валу установлен экран (диск), обеспечивающий индуктивную связь 2 пар катушек L1-L3, L2-L4. На схеме экран (диск) показан пунктиром. Генератор синусоидального напряжения, собранный на базе транзистора V1 питает первичные обмотки трансформатора L1 и L2.

При повороте экрана датчика на угол $\pm \alpha\phi$ изменяется индуктивная связь каждой пары обмоток L1-L3, L2-L4. Напряжение вторичных обмоток трансформатора выпрямляется однополупериодными выпрямителями, собранными на диодах V2, V3, C8, C9. При нулевом положении экрана ($\alpha\phi = 0$) на базу транзистора V4 через R6 подаётся напряжение $\sim 4V$ (несимметрия катушек L3, L4), которое измеряется в зависимости от положения экрана. Эмиттерный усилитель на V4 и R7 усиливает сигнал, и со средней точки R7 снимается аналоговый сигнал. На испытательном стенде выведены контрольные клеммы 3-4. С помощью вольтметра путём изменения угла поворота вала датчика можно проследить изменение $U_{\alpha\phi}$ (U_{oc}) в зависимости от положения $\alpha\phi$ вала датчика.

Сигнал $U_{\alpha\phi}$ с датчика поступает на вход 2 блока сравнения.

1.6 Блок сравнения.

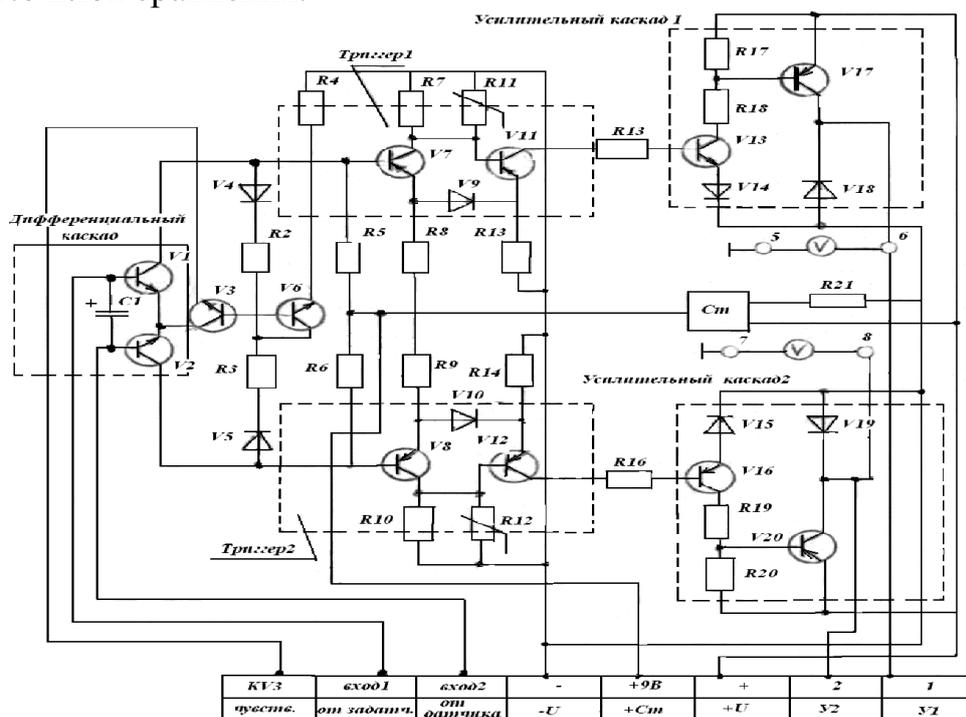


Рисунок 1.5 - Блок сравнения САР «Профиль-1»

На вход 1 и 2 блока сравнения поступают сигналы от задатчика и датчика. Схема сравнения, рис. 5, представляет собой дифференциальный каскад на транзисторах V1 и V2, который питается источником стабильного тока на транзисторах V3, V6.

Резистор «чувствительность» (в схеме не указан) в цепи эмиттера V3 предназначен для регулировки тока покоя дифференциального каскада. В зависимости от величины этого тока изменяются коэффициенты усиления

транзисторов V2, V1, следовательно, меняются уровни сигналов, подаваемых на базы транзисторов V7, V8, триггеров 1,2. Конденсатор C1, включённый между входами дифференциального каскада, с одной стороны сравнивает сигналы датчика и задатчика, а с другой стороны шунтирует высокочастотные составляющие сигналов датчика и задатчика, чем устраняется возбуждение всей схемы сравнения. Полярность C1 меняется в зависимости от соотношения сигналов датчика и задатчика, благодаря чему включаются транзисторы V7 или V8 триггеров 1,2 и обеспечиваются прохождения сигнала на усилительные каскады 1 или 2. Усилительные каскады 1 и 2 состоят из двух усилителей мощности на транзисторах V13, V17, V16, V20. При включении одного из усилительных каскадов с выхода усилителя подаётся напряжение U1, U2 на реле R1 или R2 (см. рис. 1.6). Таким образом, в блоке сравнения, рис. 5, происходит сравнение сигналов $U_{\alpha 3}$, $U_{\alpha \phi}$ с датчика и задатчика формируется, в зависимости от знака $\pm \Delta U$, управляющий сигнал U1, U2, т.е. блок сравнения выполняет функцию трёх блоков (блок сравнения, усилитель, регулятор) структурной схемы САР, рис. 2. Заметим, что питание триггеров 1, 2 усилительных каскадов осуществляется от источника $\pm \Delta U$, смещение на базу V7, V8 подаётся от стабилизированного источника питания СТ. На испытательном стенде выведены контрольные клеммы 5, 6 и 7, 8. Вольтметры, включённые в гнезда 5, 6; 7, 8, позволят проследить за работой верхнего или нижнего плеча блока сравнения.

1.7 Исполнительный механизм.

Исполнительный механизм на испытательном стенде представлен реверсивным двигателем постоянного тока, вал которого связан с отвалом. Напряжение с выхода блока сравнения (клеммы U1, U2) подаётся на реле R1, R2. Контакты реле 1R1 и 1R2 включают двигатель постоянного тока, реверсируя его, вал ДПТ связан с отвалом. Как только

$U_{\alpha 3} = U_{\alpha \phi} (\pm \Delta U = 0)$ вращение двигателя прекращается, т.е. САР отработала задание.

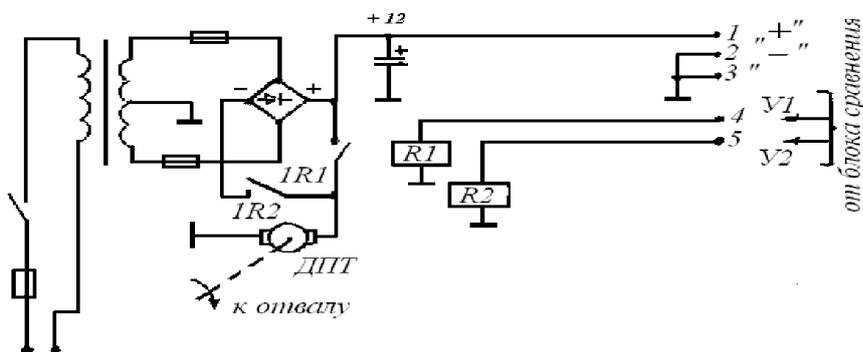


Рисунок 1.6 - Принципиальная электрическая схема исполнительного механизма

1.8 Работа на стенде и контроль основных параметров САР.

1. Приступая к работе, студент должен изучить принцип работы системы управления «Профиль-1», чётко уяснить назначение отдельных элементов САР: задатчика, датчика, блока сравнения, усилителя, регулятора, исполнительного механизма в соответствии с рис. 1.1, 1.2.

2. Изучить принципиальную электрическую схему задатчика, рис. 1.3, и снять характеристику $U_{\alpha 3} = f(\alpha)$. С этой целью на пульте управления задать величину углов α и снять показания вольтметра (клеммы 1, 2). Результаты измерений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты исследования

| Заданный угол $\alpha_3, ^\circ$; | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|----|
| Напряжение с задатчика, $U_{\alpha 3}, В$ | | | | | | |

3. Изучить принципиальную электрическую схему датчика ДКБ, рис. 4, и снять характеристику датчика $U_{\alpha ф} = f(\alpha ф)$. С этой целью установить по шкале $\alpha ф$ и снять показания вольтметра (клеммы 3, 4). Результаты измерения занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты измерений

| Фактический угол отвала, $\alpha ф, ^\circ$; | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Напряжение с датчика, $U_{\alpha ф}, В$ | | | | | | | |

4. Изучить назначение основных элементов блока сравнения, выделив элемент сравнения, усилитель, регулятор. Уяснить, как формируются управляющие сигналы U_1, U_2 , подаваемые на исполнительный механизм. С помощью вольтметров, включённых на контрольные гнезда 5-6, 7-8, проследить за работой верхнего (гнезда 5-6) и нижнего (гнезда 7-8) канала управления, сопоставить направление вращения вала исполнительного двигателя и знака $\pm \alpha_3$ (белая или синяя шкала задатчика).

5. Определить время t_p – регулирования. С этой целью вывести систему из положения равновесия и зафиксировать по спидометру время $t ф$, в течение которого $U_{\alpha 3} \approx U_{\alpha ф}$.

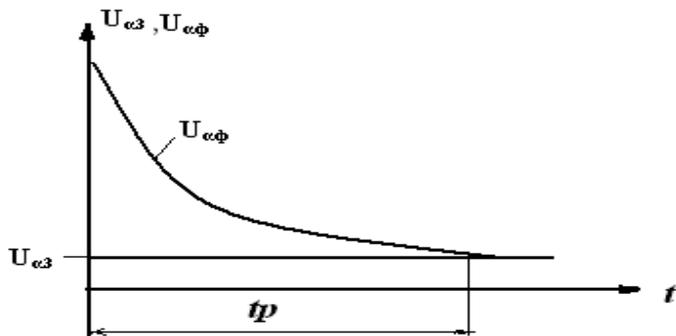


Рисунок 1.6 - Характеристика $U_{\alpha f} = f(t)$

На этом этапе рекомендуется снять характеристику $U_{\alpha f} = f(t)$, табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты эксперимента

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Время t, сек | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 |
| Напряжение $U_{\alpha f}$, В (кл. 3-4) | | | | | | | |

Определить относительную ошибку регулирования Δ .

$$\Delta = \frac{\alpha_3 - \alpha_f}{\alpha_3} * 100\% \quad (1.1)$$

где α_3 – показания задатчика, град.;

α_f – фактический (установившийся) по шкале угол отвала, град.;

Содержание отчёта:

1. Принцип работы САР «Профиль-1».
2. Структурная схема САР, назначение основных элементов.
3. Умение объяснить (по методическим указаниям) принципиальные схемы элементов САР (рис. 3, 4, 5, 6).
4. Результаты экспериментальных исследований (пункты 2, 3, 4, 5, 6).
5. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение САР.
2. Назовите основные элементы рассматриваемой САР.
3. Какому классу относится САР «Профиль-1».
4. Назовите особенности датчика ДКБ.
5. Что такое время регулирования САР.
6. Как определяется ошибка регулирования и её физический смысл.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

«Экспериментальное определение статических и динамических характеристик объектов управления».

Объект регулирования – это технологический аппарат или агрегат, в котором осуществляется процесс регулирования некоторой физической величины (давления, температуры, расхода, уровня, плотности, производительности и т.д.). Основными характеристиками объекта регулирования являются статическая и динамическая характеристики, которые позволяют определить свойства объекта регулирования, его параметры (K - коэффициент усиления, T - постоянную времени) и получить дифференциальное уравнение объекта регулирования.

Цель работы:

1. Изучение способов определения статических и динамических характеристик объектов регулирования.
2. Экспериментальное определение статических и динамических характеристик генератора постоянного тока.
3. Определение основных параметров объектов регулирования (T , K).
4. Определение типа дифференциального уравнения и передаточной функции объекта по виду динамической характеристики.

Общие сведения.

Любой объект регулирования характеризуется регулируемой величиной – y , управляющим воздействием – z .

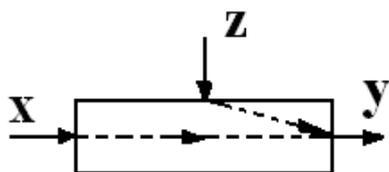


Рисунок 2.1 – Объект регулирования

Значение регулируемого параметра y зависит от управляющего воздействия x , от величины возмущения z . Поэтому различают два типа статических характеристик объекта регулирования: по управляющему воздействию $y = f(x)$, по возмущению $y = f(z)$.

Динамическая характеристика $y = f(t)$ показывает реакцию объекта регулирования во времени на ступенчатое воздействие x . В отличие от динамической характеристики $y = f(t)$, статические характеристики $y = f(x)$, $y = f(z)$ выражают зависимость между переменными в установившемся режиме. Существует два способа определения статических и динамических характеристик – теоретический и экспериментальный. Эти два способа взаимно дополняют друг

друга в том случае, если определение характеристик $y = f(x)$, $y = f(z)$, $y = f(t)$ одним из них затруднено.

В настоящей работе на примере генератора постоянного тока рассматривается два способа определения характеристик $y = f(x)$, $y = f(z)$, $y = f(t)$ объекта.

Теоретическое определение характеристик объекта регулирования.

В качестве объекта регулирования рассмотрим генератор постоянного тока, рис. 2.2.

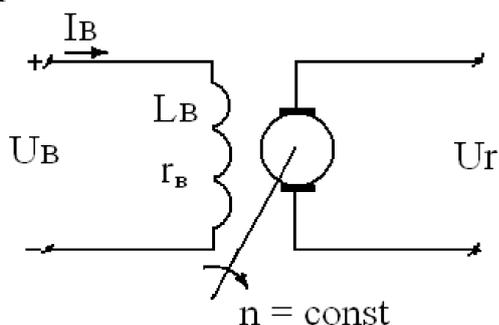


Рисунок 2.2 – генератор постоянного тока независимого возбуждения

На основании второго закона Кирхгофа составим уравнение цепи обмотки возбуждения в переходном режиме.

$$L_a \frac{dI_a}{dt} + r_a \cdot I_a = U_a, \quad (2.1)$$

Где L_B – индуктивность обмотки возбуждения, Гн;

r_B – активное сопротивление обмотки возбуждения, Ом;

I_B – ток в обмотке возбуждения, А;

U_B – напряжение цепи возбуждения, В;

U_r – напряжение на зажимах генератора, В.

ЭДС якоря генератора (при $n=\text{const}$) определяется выражением:

$$E = C_e \cdot I_B, \quad (2.2)$$

Где C_e – постоянная генератора.

Из выражения (2.2) получим

$$I_B = \frac{E}{C_e}; \quad \frac{dI_B}{dt} = \frac{1}{C_e} \cdot \frac{dE}{dt}$$

Подставляя значения I_B и его производной в уравнение (2.1), получим:

$$\frac{L_B}{C_e} \cdot \frac{dE}{dt} + \frac{r_B}{C_e} \cdot E = U_B$$

(2.3)

Умножая обе части уравнения (3) на $\frac{C_e}{r_e}$, получим:

$$\frac{L_e}{r_e} \cdot \frac{dE}{dt} + E = \frac{C_e}{r_e} \cdot U_e \quad (2.4)$$

Введём обозначение:

$$\frac{L_e}{r_e} = T \quad - \text{ постоянная времени обмотки возбуждения;}$$

$$\frac{C_e}{r_e} = K \quad - \text{ коэффициент усиления (передаточный коэффициент).}$$

Подставляя эти значения в уравнение (2.4) получим:

$$T \cdot \frac{dE}{dt} + E = K \cdot U_e \quad (2.5)$$

Заменяя для общности $U_e = x$, $E = y$, получим дифференциальное уравнение (6) в общем виде:

$$T \frac{dy}{dt} + y = Kx \quad (2.6)$$

Уравнение (2.6) представляет собой уравнение апериодического звена первого порядка с коэффициентами T , K .

Решением уравнения (2.6) при $x = \text{const}$ будет функция вида (2.7):

$$y = Kx(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2.7)$$

При $t \rightarrow \infty$ динамическая характеристика $y = f(t)$ строится графически и представлена на рис.2.1.

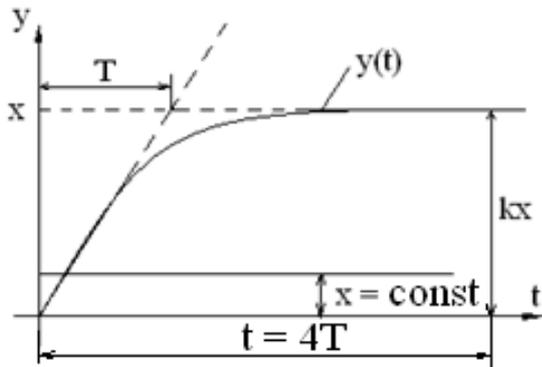


Рисунок 2.2 - Динамическая характеристика $y = f(t)$ аperiodического звена без запаздывания ($\tau = 0$).

$$W_{(p)} = \frac{K}{T_p p + 1} \quad (2.8)$$

Зная параметры T , K нетрудно получить передаточную функцию аperiodического звена.

Применительно к ГПТ, (рис.2.1.), статические характеристики по управляющему воздействию – $U_r = f(I_B)$, и по возмущению - $U_r = f(p)$ могут быть получены на основе анализа уравнения (8) электрического равновесия генератора:

$$U_r = E - I_a \cdot r_a \quad (2.9)$$

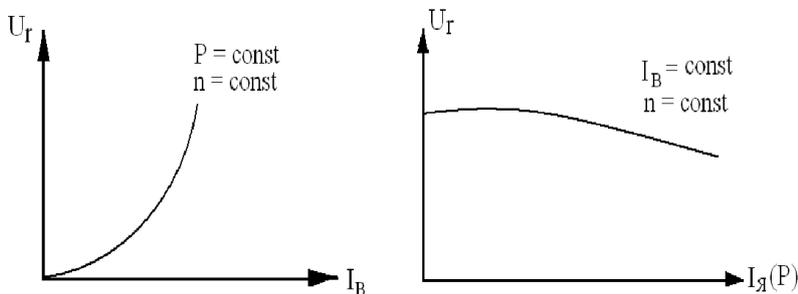


Рисунок 2.3 - Статические характеристики $U_r = f(I_B)$, $U_r = f(p)$ генератора постоянного тока.

2.2 Экспериментальное определение характеристик объекта управления.

К экспериментальному определению характеристик $y = f(x)$, $y = f(z)$, $y = f(t)$ объекта прибегают в том случае, если их теоретическое определение затруднено. В этом случае поступают следующим образом. При снятии статических характеристик $y = f(x)$, $y = f(z)$ с некоторым интервалом Δx , Δz изменяют управляющее x и возмущающее z воздействия и регистрируют значение регулируемого параметра y .

При снятии динамической характеристики $y = f(t)$ изменяют ступенчатое управляющее воздействие x на объект и регистрируют изменение во времени

регулируемого параметра y . По экспериментально снятой динамической характеристике $y = f(t)$ устанавливают тип объекта регулирования (апериодическое, колебательное и т.д. звено), а затем определяют параметры T , K .

Применительно к ГПТ (рис. 2.1), скачкообразно изменяют ток возбуждения I_B (от $I_{B \min} = 0,2A$ до $I_{B \max} = 0,8A$) и с помощью вольтметра регистрируют $U_r \min$ и $U_r \max$. При наличии самописца запись $U_r(t)$ производится на ленте. Определение параметров объекта T , K производится графически.

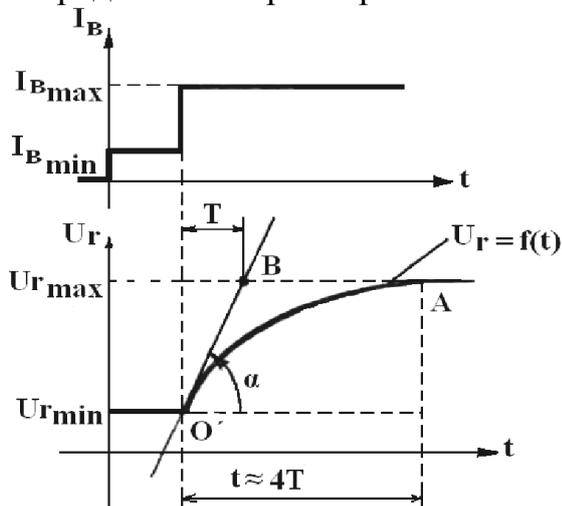


Рисунок 2.4 - Экспериментальная динамическая характеристика $y = f(t)$.

Значение коэффициента усиления K объекта определяется с помощью следующей зависимости

$$K = \frac{U_{r \max} - U_{r \min}}{I_{B \max} - I_{B \min}}$$

Постоянная времени T объекта определяется по выражению

$$T = \frac{U_{r \max}}{tg \alpha}$$

Примечание: точность вычисления T зависит от длины подкасательной от начала O' кривой переходного процесса $U_r(t)$ до точки пересечения её с асимптотой $U_r \max = \text{const}$. Поэтому, зафиксировав время $t_{O'A}$, берут $\frac{1}{4} t_{O'A}$ и таким образом определяют $T = \frac{1}{4} t_{O'A}$, т.е. точку B , и только затем проводят подкасательную и определяют угол α .

2.3 Описание экспериментального стенда.

Объектом регулирования является генератор постоянного тока, якорь которого приводится во вращение трёхфазным асинхронным двигателем, рис.2.5.

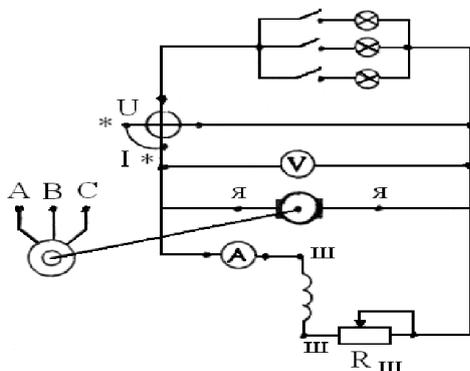


Рисунок 2.5 - Схема экспериментальной установки ($W = 5A, 300B; U = 0 \div 250B; A = 0 \div 1 A$)

Регулируемая величина – напряжение генератора U_r измеряется с помощью вольтметра, управляющее воздействие – ток цепи возбуждения I_v , измеряется амперметром, возмущающее воздействие – потребляемая генератором мощность P измеряется ваттметром. Измерительные приборы, клеммы якоря Я-Я, шунтовой обмотки Ш-Ш, шунтового реостата $R_{ш}$, нагрузочного лампового реостата расположены на панели стенда.

2.4 Порядок выполнения работы.

Изучить схему экспериментальной установки, подобрать оборудование, подключить асинхронный двигатель.

Собрать схему для проведения исследования и кратковременным пуском при $R_n = 0$ проверить в присутствии преподавателя направление вращения генератора.

Включить привод генератора и при $R_n = 0$ установить режим холостого хода генератора: $U_r = 200B; I_v \approx 0,55A$.

Снять статическую характеристику объекта по возмущающему воздействию $U_r = f(P)$ в соответствии с табл. 1. Число замеров $n = 10$.

Таблица 1.2

| Количество ламп в нагрузке | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Мощность нагрузки, P, Вт. | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Напряж ение на зажимах генерато ра, $U_r, В$ | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Снять статическую характеристику объекта по регулируемому воздействию $U_r = f(I_b)$ в соответствии с табл. 2. Число замеров $n = 9$.

Таблица 2.2

| | | | | | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|--|--|--|-----|--|
| | 0 | | | | | | | | 0,8 | |
| Напряжен ие на зажимах генератор а, $U_r, В$ | | | | | | | | | | |

Снять динамическую характеристику $U_r = f(t)$ объекта при скачкообразном изменении регулирующего воздействия. С этой целью установить $I_b \min = 0,2А$; $U_r \min =$, включить три лампы накаливания и скачкообразно увеличить I_b , ($I_b \max = 0,8А$). Зафиксировать $U_r \max = 150В$, время t О'А (по секундомеру), в течение которого установится $U_r \max$.

Обработка результатов эксперимента.

Построить статические характеристики $U_r = f(I_b)$, $U_r = f(P)$.

Построить графически динамическую характеристику $U_r = f(t)$.

Провести подкасательную О'А динамической характеристики $U_r = f(t)$ и определить угол α .

Определить параметры К и Т объекта регулирования.

Привести дифференциальные уравнения и передаточную функцию объекта регулирования.

Содержание отчёта.

Описание способов определения статических и динамических характеристик объектов.

Схема экспериментальной установки и порядок проведения эксперимента.

Графическая интерпретация результатов эксперимента.

Методика определения параметров Т, К объекта.

Идентификация объекта регулирования (определение дифференциального уравнения и передаточной функции).

Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

Дайте определение регулируемого параметра, возмущающего и регулирующего воздействия.

Дайте определение статической и динамической характеристик объекта.

В каких случаях прибегают к экспериментальному определению характеристик объекта.

Объясните характер статических характеристик объекта, используя уравнение электрического равновесия генератора.

Объясните характер динамической характеристики (2.7) объекта, используя его дифференциальное уравнение (2.6).

Сделайте вывод о типе объекта регулирования по его динамической характеристике и приведите его дифференциальное уравнение и передаточную функцию.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

«Снятие временной характеристики объекта регулирования».

Общие сведения.

Объект регулирования – это технологический аппарат или агрегат, в котором осуществляется процесс регулирования. Регулируемой величиной, или регулируемым параметром, называется какая – либо величина (давление, температура, уровень и т.д.) постоянное значение которой должно поддерживаться в объекте регулирования или изменяться по программе. Регулирующим воздействием называется воздействие на объект регулирования со стороны регулятора.

Все объекты регулирования (технологическая ёмкость, двигатель внутреннего сгорания, насос) характеризуются тем, что через них непрерывно протекает вещество или энергия. Количество вещества или энергии, протекающей через объект или отбираемой от объекта, называется нагрузкой. Изменение нагрузки приводит к изменению регулируемого параметра. Чтобы поддержать регулируемый параметр на заданном уровне, нужно изменить приток вещества или энергии в объект в соответствии с новым значением нагрузки объекта.

Ёмкостью объекта регулирования называется его способность накапливать энергию или вещество. Ёмкость объекта определяет количество содержащегося в нём в рассматриваемый момент времени вещества или энергии.

Для расчёта объектов регулирования обычно используют безразмерные величины. Так, вместо размерных величин Q_n (количество притока) и Q_r (количество расхода) используют относительную величину притока $g_n = Q_n / Q_{max}$ и относительную величину расхода $g_r = Q_r / Q_{max}$, где Q_{max} – максимальная нагрузка объекта регулирования.

Тогда возмущающее воздействие в безразмерном выражении

$$v = g_n - g_r$$

а текущее значение регулируемого параметра в безразмерном значении:

$$x = H / H_0$$

где H – заданное значение параметра;

H_0 - фактическое значение регулируемого параметра.

Относительное отклонение регулируемого параметра φ определяют как отклонение текущего значения параметра ΔH от заданного значения отнесённого к H_0 , т.е.

$$\varphi = \frac{H_0 - H}{H_0} = \frac{\Delta H}{H_0}$$

Наиболее благоприятные условия для регулирования имеют место при мгновенном (скачкообразном) нарушении баланса между притоком и расходом вещества или энергии в объекте регулирования. Кривая, которая показывает, как изменяется регулируемый параметр во время при скачкообразном возмущении и отключенном регуляторе, называется временной характеристикой, или кривой разгона объекта.

В некоторых объектах при нарушении равенства притока и расхода вещества или энергии регулируемый параметр принимает новое, постоянное значение без вмешательства извне. Такие объекты обладают свойством самовыравнивания, рис.3.1.

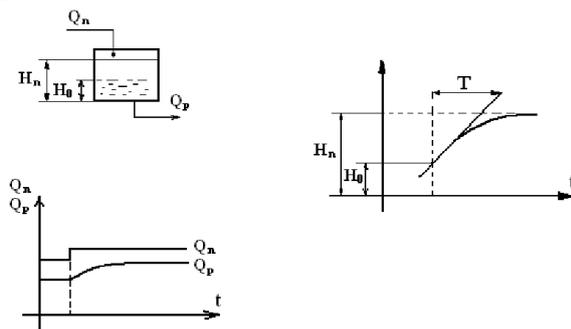


Рисунок 3.1 - Объект и характеристики объекта с самовыравниванием

У объектов, не обладающих свойством самовыравнивания, любое изменение регулируемого параметра не оказывает обратного воздействия на приток или расход вещества (энергии), в результате чего параметр не будет изменяться непрерывно, рис.3.2.

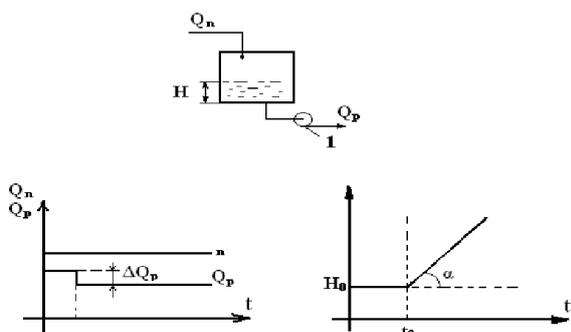


Рисунок 3.2 - Объект и характеристики объекта без самовыравнивания

3.1. Центробежный насос.

Вследствие превышения притока над расходом в объекте накапливается вещество, и его уровень будет неограниченно возрастать. Скорость изменения уровня H определяется по графику тангенсом угла. В результате, чем больше возмущение, тем больше скорость изменения параметра.

$$\frac{d\varphi}{dt} = \varepsilon v$$

$\frac{d\varphi}{dt}$

– скорость относительного изменения параметра;

v – возмущающее воздействие;

ε – скорость разгона объекта без самовыравнивания.

Физическая скорость разгона ε представляет собой скорость изменения параметра при возмущении равном единице.

Величина T , обратная скорости разгона, называется временем разгона.

$$T' = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{v}{\frac{d\varphi}{dt}}$$

В объекте с самовыравниванием (рис.3.1) при изменении Q_n произойдёт изменение Q_r и регулируемый параметр H начнёт изменяться до нового стабильного значения H_n . Кривая разгона в этом случае не будет линейной (сравните с рис.3.2), т.к. объект регулирования обладает свойством самовыравнивания, скорость изменения параметра H будет переменной. В первый момент после возмущения скорость изменения параметра достигнет наибольшей величины, а по мере уменьшения разницы между Q_n и Q_r будет уменьшаться, и через некоторое время T (постоянное времени объекта), когда $Q_n = Q_r$ наступит новое равновесное состояние при новом значении регулируемого параметра H .

Кривая разгона для одноёмкостных объектов (обладающих одной ёмкостью и одной постоянной времени T объекта) представляет собой экспоненту, рис.3.1. Экспонента обладает тем свойством, что касательная, проведённая к ней, отсекает на линии, соответствующей новому установившемуся значению H_n регулируемого параметра отрезок T , называемый постоянной времени объекта регулирования.

Способность объекта самовыравниваться после нанесения возмущающего воздействия v степенью самовыравнивания ρ , определяемой отношением:

$$\rho = \frac{v}{\varphi}$$

где: v – величина возмущения, т.е. величина небаланса между притоком и расходом вещества или энергии.

Другой важной величиной, характеризующей объект регулирования, является коэффициент усиления объекта K_u . Коэффициент усиления объекта показывает во сколько раз изменение регулируемого параметра φ (выходной величины) будет больше изменения входной величины регулирующего воздействия $\mu = v$ при переходе от одного установившегося значения регулируемого параметра к другому и определяется выражением:

$$K_y = \frac{1}{\rho} = \frac{\varphi}{v}$$

В системах автоматического регулирования изменение регулируемого параметра начинается не сразу, а через определённый промежуток времени после начала возмущающего воздействия, рис.3.3.

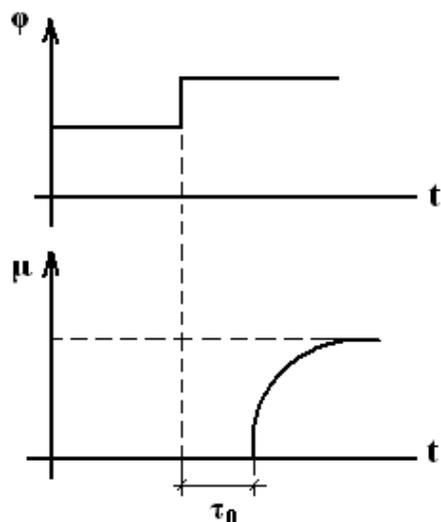


Рисунок 3.3 - Запаздывание у объектов регулирования

Требуется определённый промежуток времени от начала изменения регулируемого параметра до начала перемещения регулируемого органа. Начало перемещения регулируемого органа также не приводит к мгновенному изменению регулируемого параметра. Это явление называется запаздыванием. Различают два вида запаздывания: чистое запаздывание (τ_0) и переходное (ёмкостное) (τ_n). Обычно при определении временных характеристик объектов регулирования оперируют величиной полного запаздывания, т.е.:

$$\tau = \tau_0 + \tau_n$$

Чистое запаздывание τ_0 (передаточное, транспортное, дистанционное) – это время, в течении которого регулируемый параметр после возмущения не изменяется.

Переходное (ёмкостное) запаздывание τ_n имеет место в многоёмкостных объектах, когда несколько ёмкостей соединены между собой последовательно через различные сопротивления (тепловые, гидравлические), что вызывает замедление перехода энергии или вещества из одной ёмкости в другую. Запаздывание ухудшает процесс регулирования, поэтому следует стремиться к уменьшению запаздывания.

Цель работы:

Изучить основные теоретические положения изложенные в разделе «Общие сведения».

Экспериментальным путём определить основные параметры объекта регулирования:

- а) постоянную времени объекта T ;
- б) относительное изменение регулируемого параметра φ ;
- в) степень самовыражения объекта регулирования ρ ;
- г) коэффициент усиления объекта K_u ;
- д) скорость изменения $d\varphi / dt$ регулируемого параметра;
- е) скорость разгона ϵ объекта регулирования;
- ж) время разгона T' объекта регулирования;
- з) полное запаздывание τ .

3. Произвести аппроксимацию объекта регулирования аналитическим выражением и определить его передаточную функцию $W(P)$.

Описание экспериментальной установки.

Наиболее просто определить свойства объекта регулирования можно по экспериментально полученной кривой разгона. Кривая разгона объекта регулирования является важной кинематической характеристикой, позволяющей определить параметры настройки автоматического регулятора. Кривая разгона может быть определена по опыту путём записи изменения регулируемой величины от начала возмущающего воздействия до установившегося значения. Для записи кривой разгона используют самопишущие приборы. Чтобы избежать искажений за счёт случайных возмущений при снятии кривой разгона, рекомендуется создавать большие возмущения в пределах насколько позволяет технологический процесс.

Перед началом эксперимента объект регулирования приводится в установившееся состояние при выбранном режиме работы. Затем объекту наносится мгновенно скачкообразное возмущение (не менее 10% от нормального режима работы объекта). В результате скачкообразного возмущения будет получен график изменения выходной величины – регулируемого параметра во времени. По полученной кривой разгона определяют основные параметры объекта регулирования.

Установка для исследования свойств объекта регулирования (рис.3.4) состоит из трубчатой электрической печи 1 (объект регулирования), термопары 2, помещённой внутри металлического цилиндра, электронного автоматического потенциометра 3 (с записью на ленточной диаграмме), вольтметра 4, амперметра 5, автотрансформатора 6.

Через печь 1 воздух прогоняется вентилятором 7, снабжённым коллекторным двигателем 8. Объектом регулирования служит печь, а регулируемым параметром – температура горячего воздуха, выходящего из печи. Регулирующим агентом является мощность (Вт.) нагревателя печи 1, которая определяется выражением:

$$P = V \cdot I = I^2 R$$

где: I – ток, А;

V – напряжение, В;

R – сопротивление нагревателя, Ом.

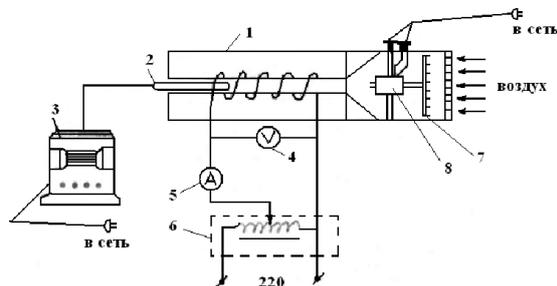


Рисунок 3.4 - Схема установки для определения временной характеристики объекта регулирования

Идентификация объекта регулирования дифференциальным уравнением первого порядка без запаздывания.

Дифференциальное уравнение такого типа имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3.1)$$



И передаточную функцию $W(p) = \frac{k}{T_p + 1}$

где p – оператор Лапласа.

В выражении (1) неизвестными являются постоянная времени T и коэффициент усиления K , которые можно определить по экспериментально снятой временной характеристике объекта.

Решение дифференциального уравнения (1).

$$y(t) = kx(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (3.2)$$

Для вычисления T и K достаточно взять пару любых точек из экспериментального графика, подставить их координаты, а затем из полученных двух уравнений вычислить T и K .

$$y_1 = k_a(1 - e^{-\frac{t_1}{T}}) \quad (3.3)$$

$$y_2 = k_a(1 - e^{-\frac{t_2}{T}})$$

Уравнения (3) трансцендентные и вычисление K и T затруднительно. Поэтому применяют следующий приём. При $t \rightarrow \infty$ $y(t) \rightarrow K_a$, следовательно, ордината

асимптоты, к которой стремится y , даёт возможность определить K простым делением на x , т.е.

$$K = \frac{b}{a}$$

Для вычисления T продифференцируем уравнение (3.2)

$$\frac{dy(t)}{dt} = K_a \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}}$$

и устремим t к нулю.

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{dy}{dt} = K_a \frac{1}{T} = \frac{b}{T} = \operatorname{tg} \alpha$$

где α – угол наклона касательной, проведенной к графику $y(t)$ при $t = 0$.

Поэтому:

$$T = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Итак, T численно равно длине подкасательной в пределах от начала координат до точки пересечения её с упомянутой асимптотой $y = \operatorname{const}$. Это решение самое простое, но не очень точное, т.к. трудно точно провести касательную и точно указать ординату асимптоты, и все промежуточные точки из рассмотрения выпадают. Применительно к нашему исследуемому объекту при изменении тока от I_0 до I_n , температура печи изменяется от Θ_0 до Θ_n , рис.3.5.

Из рис. А, б следует, что параметры объекта K и T могут быть определены по экспериментальным кривым.

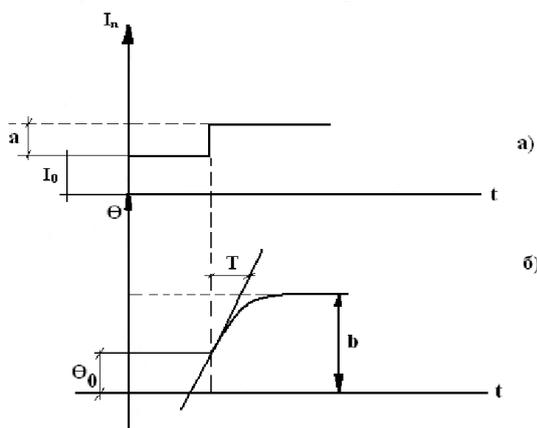


Рисунок 3.5 - Кривая ступенчатого возмущения (а) и переходной функции (б) нагревательной печи без учёта запаздывания

3.2 Идентификация объекта регулирования дифференциальным уравнением первого порядка с запаздыванием

Дифференциальное уравнение такого объекта имеет вид:

$$T_0 \frac{dy}{dt} + y = K_0 v(t - \tau)$$

И передаточную функцию $W(P) = \frac{k e^{-\tau P}}{T_p + 1}$
 Решением дифференциального уравнения (2) будет функция
 $y(t) = kx(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}})$

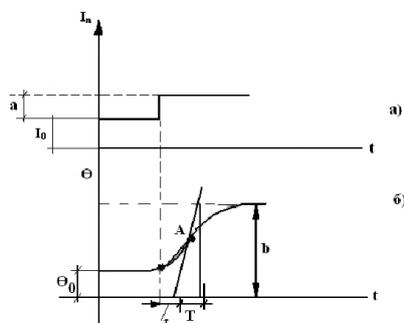


Рисунок 3.6. - Кривая ступенчатого воздействия (а) и переходной функции (б) нагревательной печи с учётом запаздывания

Если по эксперименту получена переходная функция вида рис. 3.6, то она описывается уравнением (3.3). Параметры (k, t, τ) кривой y(t) могут быть определены по экспериментально снятой переходной функции y(t).

В точке наибольшего наклона кривой разгона А проводят касательную до пересечения с осью времени и асимптотой, к которой стремится кривая разгона. Затем измеряют k, t и τ как это показано на рис.3.6.

Порядок выполнения работы.

Под контролем преподавателя включить потенциометр, вентилятор, лабораторный автотрансформатор, установив ток I = А.

Наблюдая за ленточной диаграммой потенциометра ожидать записи прямолинейного участка на ленте. Зафиксировать начальное значение температуры Θ = °С.

Нанести объекту возмущающее воздействие, установив движением ползунка автотрансформатора ток I = А.

Включить секундомер и через t= сек. фиксировать изменение температуры до нового установившегося значения.

Данные измерений занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

| № №п. п | ВВремя, сек | Температу ра Θ, °С | Относител ьное изменение параметра φ | Относительное текущее отклонение регулируемого парам. | Ток, а | |
|---------------|----------------|--------------------------|--|---|------------------|---------------------|
| | | | | | До возмущения | После возмущения |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Включить установку и определить относительное изменение регулируемого параметра φ .

$$\varphi = \frac{\theta_{\text{кон}} - \theta_{\text{нач}}}{\theta_{\text{нач}}}$$

За начальное значение $\theta_{\text{нач}}$ температуры в объекте принимать её начальное равновесное значение $\theta_{\text{нач}}$ зафиксированное в пункте 2.

Определить относительное текущее отклонение регулируемого параметра

$$\varphi_t = \frac{\theta_t - \theta_{\text{нач}}}{\theta_{\text{нач}}}$$

где θ_t – значение температуры объекта, соответствующее времени t .
По данным граф 4 и 1 построить график $\varphi(t)$ и сопоставить его с кривой, записанной на диаграммной бумаге автоматического электронного потенциометра.

Произвести обработку результатов эксперимента.

Обработка результатов эксперимента.

При анализе систем автоматического регулирования необходимо иметь дифференциальное уравнение объекта регулирования. Здесь рассматривается способ определения дифференциального уравнения объекта по экспериментальным данным. Исследуемый в настоящей работе объект относится к классу апериодических объектов. Это объект, в котором при подаче на вход ступенчатого воздействия, выходная величина по экспоненциальному закону стремится к новому установившемуся закону. Такие объекты называют инерционными, особенно если время запаздывания значительно и им нельзя пренебречь. Это относится часто к технологическим объектам: нагревательным печам, смесителям, технологическим ёмкостям.

Содержание отчёта:

Основные теоретические положения по определению параметров объекта регулирования.

Описание экспериментальной установки.

Результаты и обработка экспериментальных исследований.

Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

Что называется объектом регулирования? Приведите примеры объектов регулирования.

Что такое возмущающее воздействие объекта регулирования?

Дайте определение кривой разгона объекта.

Как вы понимаете определение: кривая разгона – это реакция объекта на скачкообразное возмущающее воздействие?

Чем отличается объект с самовыравниванием от объекта без самовыравнивания?

Что такое постоянная времени объекта?

Какой физический смысл показателя ν – степени самовыравнивания объекта?

Что такое коэффициент усиления объекта и каков его физический смысл?

Что такое запаздывание объекта и как оно влияет на процесс регулирования?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

«Экспериментальное определение частотных характеристик типовых динамических звеньев.»

Общие сведения.

Любая автоматическая система состоит из отдельных звеньев, каждое из которых выполняет определённую функцию. Для анализа свойств и поведения системы автоматического управления её разделяют на типовые звенья не по конструктивным или функциональным признакам, а по их статическим и динамическим характеристикам. Математическое описание и моделирование автоматической системы существенно упрощается, если представить её в виде совокупности типовых звеньев, соединённых последовательно или параллельно, характеристики которых заранее известны.

Представляя автоматическую систему в виде структурной схемы, состоящей из типовых звеньев, нетрудно получить дифференциальное уравнение системы и исследовать его. По виду передаточной функции различают следующие типы звеньев:

Апериодическое звено

$$W(p) = \frac{K}{T_p p + 1}$$

Колебательное звено

$$W(p) = \frac{K}{T_1 \cdot T_2 p^2 + T_2 p + 1}$$

Интегрирующее звено

$$W(p) = \frac{K}{p}$$

Дифференцирующее звено

$$W(p) = K \cdot p$$

Запаздывающее звено

$$W(p) = e^{-\tau p}$$

Здесь K – статический коэффициент передачи звена;

T_1, T_2 – постоянные времени звена;

τ – время запаздывания;

p – комплексный параметр Лапласа.

Для анализа свойств типовых звеньев и САР пользуются следующими взаимно связанными характеристиками: амплитудно-фазовой частотной характеристикой, вещественной и мнимой частотными характеристиками звена, амплитудной и фазовой частотными характеристиками, логарифмическими характеристиками. Заметим, что все названные выше характеристики могут быть получены из передаточной функции $W(P)$ типового звена.

Для ознакомления с этими характеристиками получим их на примере генератора постоянного тока независимого возбуждения, представляющего собой апериодическое звено первого порядка, рис.4.1.

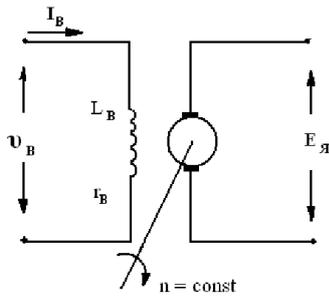


Рисунок 4.1 - Генератор постоянного тока независимого возбуждения

Выводим уравнение изменения Э.Д.С. якоря генератора при включении обмотки возбуждения на постоянное напряжение U_B .

Уравнение цепи обмотки возбуждения в переходном режиме имеет вид:

$$L_B \frac{dI_B}{dt} + r_B I_B = U_B \quad (4.1)$$

где L_B - индуктивность обмотки возбуждения, Гн;

r_B - активное сопротивление обмотки возбуждения, Ом;

I_B - ток в обмотке возбуждения, А.

Э.д.с. якоря генератора определяется выражением

$$E_я = C_e I_B \quad (4.2)$$

где C_e – постоянная генератора, Ом.

Так как рассматривается э.д.с. якоря, то индуктивность и активное сопротивление цепи якоря не учитывается. Их можно не учитывать и при малой нагрузке, когда генератор работает в режиме, близком к холостому ходу, и напряжение на зажимах якоря практически равно его э.д.с. Из (2) находим

$$I_B = \frac{E_я}{C_e};$$

Подставляя значения I_B и его производной в уравнение (4.1) имеем:

$$\frac{L_B}{C_e} \cdot \frac{dE_я}{dt} + \frac{r_B}{C_e} \cdot E_я = U_B \quad (4.3)$$

Умножая обе части уравнения на $\frac{L_B}{r_B}$ получим

$$\frac{L_B}{r_B} \cdot \frac{dE_{\text{я}}}{dt} + E_{\text{я}} = \frac{C_e}{r_B} \cdot \mathcal{V}_B \quad (4.4)$$

Обозначим

$\frac{L_B}{r_B}$

- постоянная времени обмотки возбуждения, сек.

$\frac{C_e}{r_B}$

- коэффициент усиления (передаточный коэффициент).

Подставляя эти значения в (4) получим

$$T \frac{dE_{\text{я}}}{dt} + E_{\text{я}} = k \mathcal{V}_B$$

Или, заменяя для общности \mathcal{V}_B через x , а $E_{\text{я}}$ через y получим уравнение апериодического звена в общем виде

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (4.5)$$

Если заменить в выражении (5) операцию дифференцирования через комплексный оператор Лапласа – P , то уравнение (4.5) в операторной форме приобретает вид

$$(TP + 1) y = kx \quad (4.6)$$

Решением уравнения (5) при условиях, что $x = \text{const}$ будет

$$y = kx \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (4.7)$$

Это уравнение экспоненциальной кривой при $t \rightarrow \infty$

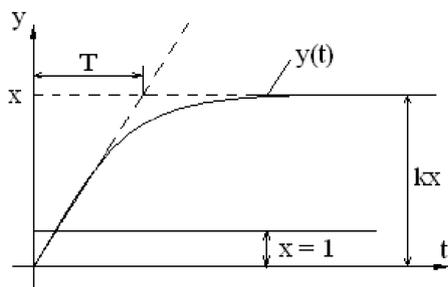


Рисунок 4.2 - Кривая разгона апериодического звена

Постоянная времени T представляет собой время, в течении которого выходная величина y достигла бы установившегося значения, если бы она возрастала с той

же скоростью, что и в начале переходного процесса. Установившееся значение выходной величины у практически достигается за время, равное $4T$.
 Передаточная функция любого звена (в том числе и апериодического) получается из уравнения (4.6).

$$W(P) = \frac{y}{x} = \frac{K}{T_p + 1} \quad (4.8)$$

Уравнение амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) апериодического звена получим, заменив в передаточной функции P на $\gamma\omega$.

$$W(\gamma\omega) = \frac{K}{T_{\gamma\omega} + 1} \quad (4.9)$$

Умножая числитель и знаменатель выражения (9) на сопряжённое комплексное число, выделим вещественную и мнимую части:

$$\begin{aligned} W(\gamma\omega) &= \frac{K(-T_{\gamma\omega} + 1)}{(T_{\gamma\omega} + 1)(-T_{\gamma\omega} + 1)} = \frac{K}{T^2\omega^2 + 1} - \gamma \frac{KT\omega}{T^2\omega^2 + 1} \\ &= P(\omega) - \gamma Q(\omega) \end{aligned} \quad (4.10)$$

Из формулы (4.10) следует, что амплитудно-фазовая характеристика апериодического звена (в равной мере и других звеньев) представляет собой функцию мнимого аргумента $\gamma\omega$, т.е. комплексной частоты. Следовательно, частотные свойства звена могут быть описаны вещественной $P(\omega)$ и мнимой $Q(\omega)$ частотными характеристиками, либо амплитудной $A(\omega)$ или фазовой $Q(\omega)$ частотными характеристиками.

Если изменять частоту ω от 0 до ∞ при заданных T и K можно построить по выражению (4.10) амплитудно-фазовую характеристику в виде полуокружности $P(\omega)$ и мнимую $Q(\omega)$ частотные характеристики, рис. 4.3.

Для фиксированных частот ω функция $W(\gamma\omega)$ обращается в комплексное число, которое может быть изображено в виде вектора на плоскости $P(\omega) - \gamma Q(\omega)$.

Разным значениям соответствуют различные точки плоскости. При непрерывном изменении частоты от 0 до ∞ образуется непрерывная совокупность точек, называемая амплитудно-фазовой характеристикой АФХ.

Уравнение амплитудной и фазовой частотных характеристик будут иметь вид:

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} = \frac{K}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} = \frac{K}{T\sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}} \\ Q(\omega) &= \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} = -\arctg T\omega \end{aligned} \quad (4.11)$$

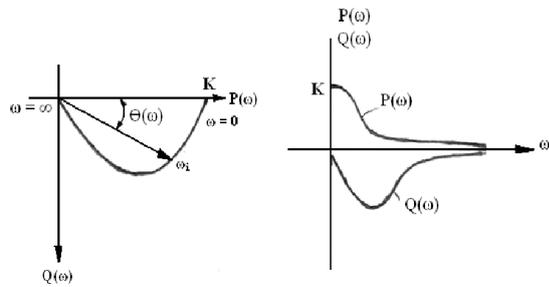


Рисунок 4.3 - Частотные характеристики аperiodического звена.

При графическом построении $A(\omega)$, $Q(\omega)$ удобно использовать логарифмический масштаб, откладывая по оси абсцисс частоту в логарифмическом масштабе, а по оси ординат усиление в децибелах для амплитудной частотной характеристики

$$а) L(\omega) = 20 \lg K - 20 \lg T \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}} \quad (4.12)$$

б) Угол Θ в радианах или градусах для фазовой частотной характеристики.

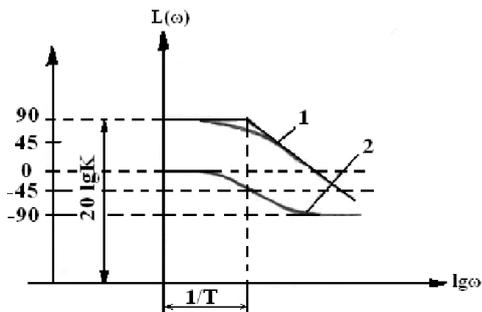


Рисунок 4.4 - Логарифмические частотные характеристики аperiodического звена.

1 – амплитудная; 2 – фазовая

Не останавливаясь здесь на методике построения частотных характеристик других типовых звеньев, отметим лишь, что она совершенно аналогична приведённой выше. Продолжим исследование аperiodического звена. Рассматриваемые звенья (1-5) можно представить в виде блок – схемы, рис.4.5, с известной АФХ.

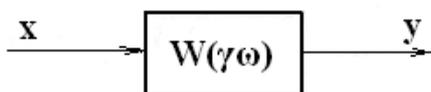


Рисунок 4.5 - Блок – схема

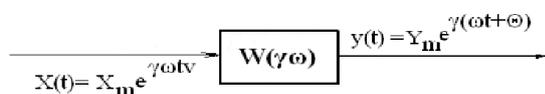
Связь между входом и выходом звена определяется выражением:

$$y = W(j\omega) \cdot x \quad (4.13)$$

Т.е. выходная величина y получается умножением входной величины x на $W(\gamma\omega)$.
Выражение (4.14) позволяет определить АФХ экспериментальным методом, исследуя реакцию звена на гармоническое воздействие.

Пусть на вход звена поступает гармоническое воздействие

$$X(t) = X_m e^{j\omega t} = X_m (\cos\omega t + j \sin\omega t)$$



Выходной сигнал $y(t)$ определяется как произведение $W(\gamma\omega)$ на входной сигнал, т.е.

$$\begin{aligned} y(t) &= X_m \cdot |W(\gamma\omega)| [\cos(\omega t + \theta) + j \cdot \sin(\omega t + \theta)] \\ &= Y_m [\cos(\omega t + \theta) + j \cdot \sin(\omega t + \theta)] = \\ &Y_m e^{j(\omega t + \theta)} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Входной сигнал может быть подан с генератора гармонических колебаний. Блок-схема установки для получения частотных характеристик приведена на рис.4.6.

На вход типового звена Т.З от генератора гармонических колебаний подаётся напряжение постоянной амплитуды при изменении частоты от 0 до ∞ (практически этот диапазон равен полосе существенных частот звена). Одновременно входной сигнал подаётся на вход X осциллографа Э.О. для измерения его величины. Выходной сигнал Т.З подаётся на Э.О (вход Y) для измерения его величины и фазы.

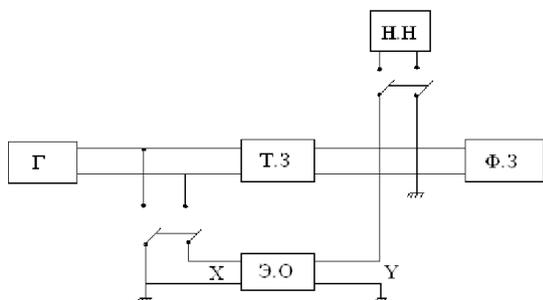


Рисунок 4.6 - Блок – схема снятия частотных характеристик типового звена

Г – генератор гармонических воздействий;

Т.З – исследуемое типовое звено;

Э.О – электронный осциллограф;

Н.Н – измеритель напряжения;

Ф.З – фазометр.

Определение величины модуля $A(\omega)$ частотной характеристики $W(\gamma\omega)$ производится с помощью осциллографа по форме и размерам фигуры Лиссажу. Фигуру Лиссажу получают на экране осциллографа при подаче на его клеммы горизонтальной и вертикальной развёртки входного и выходного сигналов звена Т.З, рис.7.

Входной $x(t)$ и выходной $y(t)$ сигналы, поданные на вход осциллографа, имеют вид:

$$x(t) = X_m \cdot \sin \omega t \quad (4.15)$$

$$y(t) = Y_m \cdot \sin(\omega t + \Theta)$$

На экране осциллографа амплитуды X_m и Y_m изображены соответственно половинками отрезков a и b , т.е.

$$a = 2M X_m ; \quad b = 2M Y_m \quad (4.16)$$

где M – масштаб экрана.

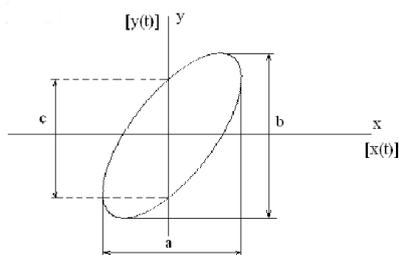


Рисунок 4.7 - Фигура Лиссажу на экране осциллографа типового звена

Поэтому модуль частотной характеристики для фиксированной частоты ω может быть найден как отношение этих отрезков:

$$A(\omega) = \frac{Y_m}{X_m} = \frac{b}{a} \quad (4.17)$$

Сдвиг по фазе находят из следующих соображений. После подставки $t = 0$ соотношение $y(t) = Y_m \cdot \sin(\omega t + \Theta)$ даёт

$$y(0) = Y_m \cdot \sin \Theta \quad (4.18)$$

Отсюда следует, что для фиксированной частоты ω сдвиг по фазе $\Theta(\omega)$ может быть найден по формуле (4.19)

$$\Theta(\omega) = \arcsin \frac{y(0)}{Y_m} = \arcsin \frac{c}{b} \quad (4.19)$$

где $y(0) = c / 2$

Значения модуля $A(\omega)$ и фазы $\Theta(\omega)$ могут быть определены и другим способом при непосредственном измерении амплитуды входного и выходного сигналов Т.З с помощью измерителя напряжения Н.Н, а также измерения фазы на данной частоте с помощью стандартного фазометра Ф.З, рис.4.6.

Цель работы:

Изучить основные теоретические положения, изложенные в разделе «Общие сведения».

Собрать схему рис.4.6 и , изменяя частоту f звукового генератора, провести измерения отрезков a, b, c , фигур Лиссажу.

По полученным данным, используя выражения (4.17), (4.19), подсчитать $A(\omega)$, $\Theta(\omega)$ для различных частот ω , а также $P(\omega) = A(\omega)\cos \Theta(\omega)$, $Q(\omega) = A(\omega) \sin \Theta(\omega)$

По экспериментальным данным построить вещественную $P(\omega)$, мнимую $Q(\omega)$, амплитудно-фазовую x -ку, а также амплитудно-частотную, фазо - частотную, логарифмическую, амплитудную, логарифмическую, фазовую характеристики апериодического звена.

Описание экспериментальной установки.

На рис.4.8 приведен электрический аналог типового апериодического звена, с постоянной времени $T = RC$, собранного в виде лабораторного макета. Заметим, что цепочка RC описывается тем же дифференциальным уравнением (4.6), что и ГПТ независимого возбуждения. Поэтому цепочка RC будет иметь те же частотные характеристики (рис.4.3, 4.4), что и ГПТ независимого возбуждения, получение которых и является целью настоящей работы.

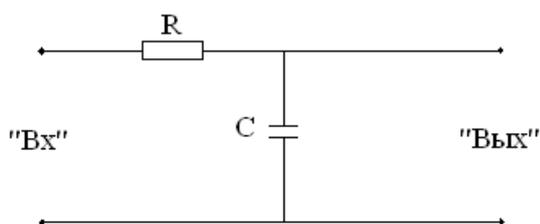


Рисунок 4.8 - Апериодическое звено

Входным сигналом является напряжение, подаваемое на клеммы «вход» звена, выходным – напряжение, снимаемое с клемм «выход».

Используемое оборудование: макет апериодического звена, звуковой генератор, электронный осциллограф, измеритель напряжения, фазометр.

Порядок выполнения работы.

Ознакомиться с апериодическим звеном, его основные характеристики, зарисовать электрический аналог звена и снять значения $R = 43 \text{ Ком}$; $c = 0,1 \text{ мкф}$. Проверить наличие необходимого оборудования на рабочем месте, собрать схему, рис.4.6, и после проверки её преподавателем включить измерительные приборы.

ПРИМЕЧАНИЕ: перед началом работы необходимо «откалибровать» экран осциллографа, т.е. установить одинаковый масштаб по осям X и Y . Для этого можно использовать калибровочный сигнал осциллографа, подав его порознь на клеммы горизонтальной и вертикальной развёртки, и добившись

соответствующими ручками усиления одинаковой величины отрезков по обеим осям. В дальнейшем ручки осциллографа трогать не рекомендуется. Задаваясь рядом значений f звукового генератора получить на экране осциллографа фигуры Лиссажу и для каждой из них определить параметры a , b , c . Результаты измерений занести в табл.1.4.

Таблица 1.4.

| №Замера | Апериодическое звено | | | |
|---------|----------------------|---|---|---|
| | f | a | b | c |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| ⋮ | | | | |
| n | | | | |

ПРИМЕЧАНИЕ: Рекомендуется принять замеры с интервалом частоты

Используя выражения (4.17), (4.19) подсчитать $A(\omega)$, $\Theta(\omega)$.

$$P(\omega) = A(\omega) \cos \Theta(\omega);$$

$$Q(\omega) = A(\omega) \sin \Theta(\omega)$$

И занести в табл.4.2

По данным табл.4.2 построить в масштабе вещественную $P(\omega)$, мнимую $Q(\omega)$, амплитудно-фазовую характеристику $W(\gamma\omega)$, а также амплитудно-частотную, фазо - частотную, логарифмическую амплитудную, логарифмическую фазовую характеристики апериодического звена.

Таблица 4.2

| № замера | Апериодическое звено | | | | | | |
|----------|----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| | $\omega = 2\pi n f$ | $\Omega = \lg \omega$ | $A(\omega) = b/a$ | $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$ | $Q(\omega) = \arcsin \frac{c}{b}$ | $P(\omega) = A(\omega) \cos \Theta(\omega)$ | $Q(\omega) = A(\omega) \sin \Theta(\omega)$ |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 3 | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

По данным табл.4.2 построить в масштабе вещественную $P(\omega)$, мнимую $Q(\omega)$, амплитудно-фазовую характеристику $W(\gamma\omega)$, а также амплитудно-частотную, фазо - частотную, логарифмическую амплитудную, логарифмическую фазовую характеристики апериодического звена.

Содержание отчёта.

Краткое описание свойств и характеристик апериодического звена и метода исследования.

Блок-схема установки, тип используемого оборудования, электрическая схема апериодического звена, данные его элементов R, C.

Результаты эксперимента (табл.4.1) и обработка результатов эксперимента (табл.4.2).

Построение в масштабе характеристики апериодического звена.

Основные выводы по работе.

Контрольные вопросы.

Что такое частотная характеристика типового звена?

Как определяется частотная характеристика по передаточной функции?

Какие типы характеристик охватывает понятие частотной характеристики звена?

Перечислите типовые звенья, описываемые линейными дифференциальными уравнениями, запишите их передаточные функции.

Объясните сущность метода определения частотных характеристик звена принятого в лабораторной работе.

Объясните порядок проведения эксперимента.

Объясните свойства апериодического звена по экспериментальным частотным характеристикам.

