

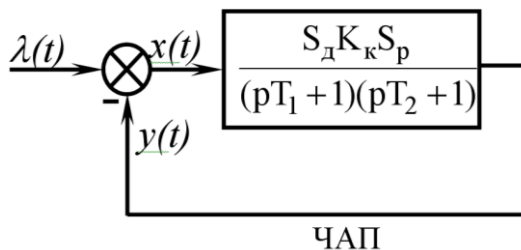
ФГОУ ВО
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОШИБОК
СИСТЕМ РАДИОАВТОМАТИКИ ПО ИХ ЛИНЕЙНЫМ
МОДЕЛЯМ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 4 по дисциплине
«Радиоавтоматика»
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и
комплексы» и направления 11.03.01
«Радиотехника»



Воронеж 2019

Составитель: канд. техн. наук А.В. Володько

УДК 621.396

Исследование динамических ошибок систем радиоавтоматики по их линейным моделям: методические указания к лабораторной работе № 4 по дисциплине «Радиоавтоматика» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и направления 11.03.01 «Радиотехника» / ФГОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Володько. Воронеж, 2019. 16 с.

Работа содержит практические и лабораторные задания курса «Радиоавтоматика», посвященным исследованию динамических ошибок в условиях линейности следящей системы, а также составлению математических моделей этих систем. В методических указаниях содержатся необходимые для этого расчетно-методические материалы.

Предназначено для студентов специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы» дневной формы обучения.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доцент С.М. Федоров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой
д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.С. Балашов

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета.

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2019

1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Цель работы: освоение на практике методики моделирования и определения динамических ошибок следящих систем радиоавтоматики на ЭВМ, закрепление знаний о поведении систем при различных входных (задающих) воздействиях.

В общем случае анализ систем слежения, и в частности, систем радиоавтоматики, сводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений. Однако единых общих приемов и методов решения таких трансцендентных уравнений не существует. Для анализа состояния системы применяют метод частичной линеаризации, заключающийся в аппроксимации нелинейной зависимости как некоторой прямой (линейной зависимости). Такой подход справедлив в области малых возмущений и позволяет перейти от системы нелинейных дифференциальных уравнений к аналогичной системе линейных дифференциальных уравнений, методы решения которых относительно просты и хорошо исследованы. Анализ переходных процессов и явления потери устойчивости, в таком случае, осуществляется методом кусочной линеаризации [1]. Решение позволяет определить время и характер установления фазы в системе, устойчивость и др. Однако, его точное аналитическое решение всегда можно получить лишь при линейной характеристике дискриминатора (предполагая что другие элементы следящей системы линейные) и в случае, если оно имеет первый порядок. При более высоком порядке и нелинейном дискриминаторе используют приближенные методы решения. К ним относятся методы основанные на линеаризации характеристик нелинейных звеньев при малых отклонениях и методы анализа на основе непрерывных кусочно-линейных функций.

Метод линеаризации позволяют аппроксимировать нелинейные характеристики радиотехнических устройств отрезками прямых. При анализе, нелинейная нормированная характеристика дискриминатора системы ЧАП и ФАП описывается выражением, справедливым для произвольного

значения аргумента. Это позволяет снизить вычислительные затраты по сравнению с методом обычной кусочно-линейной аппроксимации, упростить анализ и получить аналитические выражения, справедливые на всей области изменения аргумента. В данной работе рассматривается лишь один линейный участок характеристики, выбор которого осуществляется автоматически (вблизи нулевой точки) и не требует дополнительного разбиения диапазона изменения аргумента функции. Соответственно, линейными становятся и уравнения, описывающие поведение устройств, а их решение может быть найдено в аналитическом виде.

Содержание работы сводится к домашней подготовке математического описания изучаемых систем ФАП или ЧАП, служащего основой для моделирования, и проведения моделирования процессов в системе на лабораторном занятии в дисплейном классе с использованием IBM-совместимых ЭВМ. Теоретической базой проводимых исследований служит глава пятая учебника по курсу радиоавтоматики [1].

2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание первое

Составьте и занесите в отчет систему дифференциальных уравнений состояния, описывающих процессы в линейной системе ЧАП или ФАП второго порядка (поварриантно).

Для выполнения задания необходимо использовать линеаризованные структурные математические схемы систем ЧАП и ФАП второго порядка, представленные на рис. 1.

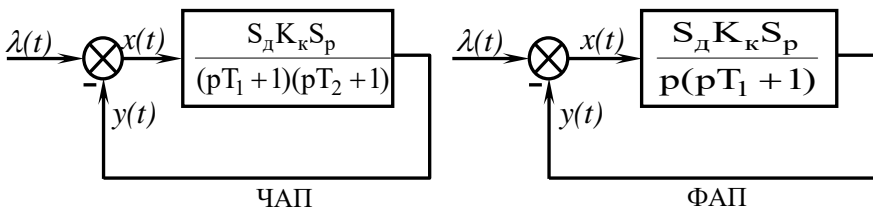


Рис. 1. Структурные математические схемы линейных следящих систем радиоавтоматики второго порядка

Как видно из рис. 1, содержащиеся в реальной следящей системе нелинейные звенья – дискриминаторы и управляемые генераторы – заменены линейными пропорциональными звеньями с коэффициентами усиления, равными крутизне дискриминационной и регулировочной характеристик S_d и S_p . Очевидно, что подобная линеаризация обусловлена малым уровнем воздействий на входе указанных звеньев, не выходящим за пределы линейных участков их характеристик управления. Инерционность дискриминаторов учтена введением в схемы звеньев с передаточной функцией $1/(pT_1 + 1)$. Кроме того, в схему ЧАП дополнительно включена инерционная часть корректирующего звена $K_k/(pT_2 + 1)$ для подавления высоких частот, а в схему ФАП – пропорциональное звено с коэффициентом усиления K_k .

Далее будем полагать, что результирующая добротность (коэффициент усиления) исследуемых систем равна K_0 , где $K_0 = S_d K_k S_p$. Размерность коэффициента K_0 для систем ЧАП и ФАП различна: в первом случае добротность – безразмерная величина, во втором выражается в c^{-1} . Анализируемые следящие системы являются устойчивыми.

В качестве задающих воздействий $\lambda(t)$ в схемах на рис. 1 и далее по тексту приняты отклонение мгновенной частоты сигнала приемника от номинальной (промежуточной) для ЧАП и текущая фаза сигнала для ФАП.

Выбор типа анализируемой в текущем задании системы второго порядка (ЧАП или ФАП) осуществляется в соответствии с номером варианта (N), заранее выданным преподавателем. Если номер Вашего варианта N – четное число, производится анализ системы ЧАП (рис. 1,а), если нечетное – ФАП (рис. 1,б).

Приняв в качестве переменных (функций) состояния системы второго порядка процессы на выходах линейных динамических звеньев, следует записать операторные, а затем и дифференциальные уравнения состояния.

Очевидно, что одной из переменных состояния при таком их выборе будет выходной процесс системы $y(t)$.

Запишите систему уравнений состояния в матричной форме. Запишите вековое уравнение линеаризованной системы. Покажите, что характеристическое уравнение Вашей системы эквивалентно вековому уравнению. Элементы методики описания следящих систем радиоавтоматики уравнениями состояния имеются в учебнике [1].

2.2. Задание второе

Покажите, что если в рассматриваемой линейной системе второго порядка (ЧАП или ФАП, рис. 1) пренебречь инерционностью дискриминатора, то полученная Вами ранее система уравнений состояния сводится к одному дифференциальному уравнению. Методом Эйлера осуществите переход от этого уравнения к разностному рекуррентному уравнению, пригодному для моделирования линейной системы первого порядка на ЭВМ.

Если в линейной системе ЧАП или ФАП второго порядка (рис. 1) пренебречь инерционностью дискриминатора ($T_I=0$), то структурные схемы анализируемых систем примут вид, показанный на рис. 2.

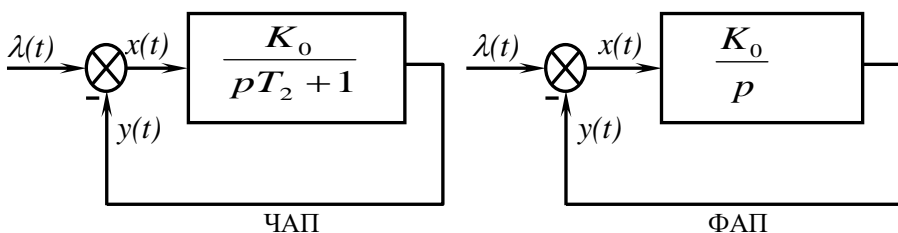


Рис. 2. Структурные математические схемы линейных следящих систем радиоавтоматики первого порядка, используемые в дальнейшем при выполнении работы

Запишите для Вашей линейной системы первого порядка (рис. 2) дифференциальное уравнение состояния. Заметим, что при изменении передаточной функции разомкнутой следящей системы (в нашем случае – упрощении) необходимо заново осуществить построение модели по переменным состояния, так как, если просто приравнять постоянную времени T_1 нулю в уравнениях, полученных Вами в п. 2.1 для модели рис. 1, то новая модель (рис. 2) окажется принципиально неверной.

Единственная переменная состояния системы первого порядка будет представлять собой выходной процесс системы $y(t)$.

Используя метод Эйлера, перейдите от дифференциального уравнения состояния к рекуррентному разностному уравнению, определяющему переменную состояния (реакцию системы $y(t)$). Сведения по этому вопросу можно найти в учебном пособии [2]. Минимально необходимые сведения о методе Эйлера заключаются в следующем.

Неизвестная функция $y(t)$, которую требуется найти из дифференциального уравнения состояния $dy/dt = \Phi(t, y, \lambda)$, предполагается разложенной в ряд Тейлора в окрестности точки t_i (на i -м такте моделирования):

$$y(t) = y(t_i) + y'(t_i) \cdot (t - t_i), \quad (1)$$

(в ряде удерживаются только первые два члена).

Подставив в это выражение производную dy/dt из дифференциального уравнения состояния анализируемой следящей системы, получим

$$y(t) = y(t_i) + \Phi(t_i, y_i, \lambda_i) \cdot (t - t_i). \quad (2)$$

Выберем длину шага моделирования (дискретизации) небольшой и одинаковой для всех тактов: $T_D = t_{i+1} - t_i$. Тогда рекуррентное выражение, определяющее значение неизвестной функции $y(t)$ в близкой к t_i точке t_{i+1} , будет иметь следующий вид:

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + \Phi(t_i, y_i, \lambda_i) T_D. \quad (3)$$

Этим выражением и следует воспользоваться при переходе от уравнения состояния к рекуррентному разностному уравнению для моделирования на ЭВМ.

2.3. Задание третье

Оцените аналитически шаг дискретизации T_D анализируемых линейных систем первого порядка.

Вне зависимости от варианта этот пункт работы, равно как и последующие, каждому студенту необходимо выполнять полностью, т. е. расчет следует провести для обеих систем, представленных на рис. 2.

Очевидно, что шаг дискретизации (моделирования) T_D должен быть значительно меньше времени установления процессов в замкнутой следящей системе t_y . Поэтому предварительно необходимо рассчитать время установления переходных процессов t_y в исследуемых системах ЧАП и ФАП первого порядка. При этом достаточно следующей оценки времени установления:

$$t_y = - \frac{3}{\sigma_{\max}}, \quad (4)$$

где σ_{\max} – реальная часть ближайшего к мнимой оси полюса передаточной функции замкнутой системы. Найдите его. В качестве ориентировочного расчетного значения шага дискретизации возьмите $T_{ДР} = 0,1 t_y$.

При расчетах необходимо взять следующие исходные параметры систем: $K_0=2N$, $T_2=0.05N$ с, где N – номер Вашего варианта. Об оценке времени установления переходного процесса можно получить сведения в учебнике [1].

2.4. Задание четвертое

Проведите расчет остаточной расстройки в анализируемых линейных системах ЧАП и ФАП первого порядка, если на входе этих систем частота сигнала изменилась скачком на величину $\delta\omega_c = 2N$ рад/с, где N – номер Вашего варианта.

При расчете остаточной расстройки следует воспользоваться методом коэффициентов ошибок [1]. Заметим, что входное воздействие в виде скачкообразного (ступенчатого) изменения частоты сигнала для систем ЧАП и ФАП записываются по-разному: $\lambda(t) = \delta\omega_c \cdot 1(t)$ для ЧАП и $\lambda(t) = \delta\omega_c \cdot t \cdot 1(t)$ для ФАП. Остаточную расстройку (установившуюся ошибку) следует подсчитать в соответствии с выражением, приведенным в учебнике [1]. Обратите внимание на то, что для определения коэффициентов ошибок необходимо использовать передаточные функции по ошибке $K_{\lambda x}(p)$, а не передаточные функции «вход-выход» $K_{\lambda y}(p)$ или разомкнутой системы $K_p(p)$.

Для системы ФАП, кроме того, необходимо рассчитать установившуюся ошибку при ступенчатом (скачкообразном) изменении фазы сигнала: $\lambda(t) = \delta\varphi_c \cdot 1(t)$, где $\delta\varphi_c = 2N$ рад.

В расчетах принять величину K_0 равной $2N$, где N – номер Вашего варианта.

2.5. Задание пятое

Определите установившиеся ошибки в системах ЧАП и ФАП первого порядка, если отслеживаемая частота меняется со скоростью $2N$ рад/с², где N – номер варианта.

Задание выполняется аналогично предыдущему – методом коэффициентов ошибок. При выполнении задания следует обратить внимание на запись $\lambda(t)$ для системы ФАП – входное воздействие будет иметь квадратично нарастающий вид.

3. Вопросы для самопроверки при подготовке к выполнению лабораторных исследований и защите работы

3.1. На базе какого математического описания систем радиоавтоматики осуществляется их моделирование?

3.2. Что такое функции (переменные) состояния системы? Как составить дифференциальные уравнения относительно этих функций?

3.3. Что такое главный определитель системы? Как он связан с характеристическим полиномом системы?

3.4. В чем состоит метод Эйлера перехода от дифференциальных уравнений к разностным при моделировании следящих систем радиоавтоматики на ЭВМ?

3.5. Как выбрать шаг моделирования (дискретизации) системы?

3.6. Какие системы называются статическими? Какие – астатическими?

3.7. Зависит ли астатизм системы от точек приложения воздействия и сьема реакции?

3.8. Как найти установившуюся ошибку в системе, используя теорему о конечном значении функции, заданной своим изображением по Лапласу?

3.9. В чем заключается расчет ошибок при использовании метода коэффициентов ошибок?

3.10. Как следует изменить коэффициенты системы S_o , K_k , S_p , чтобы уменьшить ошибки по положению? По скорости?

3.11. Влияет ли усиление системы K_0 на время установления процессов в этой системе?

3.12. Как изменится время установления инерционного звена, если его охватить единичной отрицательной обратной связью?

4. Лабораторные задания и указания по их выполнению

4.1. Выбор шага дискретизации $T_{\partial 0}$ при моделировании линейных следящих систем ЧАП и ФАП первого порядка

Произведите моделирование переходных процессов в анализируемых линейных системах ЧАП и ФАП первого порядка (поочередно) при ступенчатом входном (задающем) воздействии $\lambda(t) = A \cdot 1(t)$ и шаге дискретизации $T_{\partial p}$, рассчитанном Вами при выполнении подготовительных заданий. Для системы ЧАП взять параметр A равным $\delta\omega_c = 2N \text{ рад/с}$, для ФАП – $A = \delta\varphi_c = 2N \text{ рад}$, где N – номер Вашего варианта.

Чтобы осуществить моделирование с использованием прикладной программы «L4», произведите следующую последовательность действий:

– клавишей <1> установите тип исследуемой линейной системы;

– задайте (клавишей <2>) коэффициент усиления (добротность) системы $K_0 = 2N$;

– введите (клавишей <3>) соответствующее Вашему варианту значение постоянной времени инерционной части системы ЧАП ($T_2 = 0.05N \text{ с}$);

– при моделировании процессов в системе ФАП постоянная времени T_2 , устанавливаемая клавишей <3>, имеет смысл постоянной времени интегрирования, поэтому возможны два варианта задания исходных данных: первый – задать $K_0 = 2N \text{ с}^{-1}$, а $T_2 = 1 \text{ с}$; второй – задать $K_0 = 1 \text{ с}^{-1}$, а $T_2 = 1/(2N) \text{ с}$; при этом результирующая добротность системы

ФАП будет равна $2N \text{ с}^{-1}$, а результаты моделирования по обоим вариантам тождественны;

– с помощью клавиши <4> установите шаг дискретизации, равный расчетному $T_{\text{о}p}$, полученному Вами в п. 2.3;

– введите параметры модели входного ступенчатого воздействия $\lambda(t)$ (посредством клавиш <5>, <6>): величину M положите равной нулю ($M = 0$), величину A – указанному выше значению; при этом необходимо иметь ввиду, что моделируемое входное воздействие, в общем случае, имеет полиномиальный вид, определяемый выражением $\lambda(t) = A \cdot t^M$;

– с использованием дополнительного меню, вызываемого клавишей <7>, установите такие параметры выводимых на экран графиков (время наблюдения, максимальное значение по оси ординат, количество точек расчета), которые позволяли бы детально просмотреть результирующие кривые (входное воздействие $\lambda(t)$, реакцию (выход) системы $y(t)$ и ошибку $x(t)$); вместе с тем заданные время наблюдения и количество расчетных точек должны обеспечивать моделирование процессов в системе на интервале времени, как минимум вдвое превышающем расчетное время установления t_y ;

– произведите моделирование, задействовав клавишу <8>.

Занесите графики $\lambda(t)$, $y(t)$ и $x(t)$ в отчет.

Удвойте величину шага дискретизации $T_{\text{о}}$, введя ее новое значение соответствующей клавишей. Произведите повторное моделирование, не стирая с экрана предыдущих графиков. Сравните полученные кривые переходного процесса (при $T_{\text{о}} = 2 \cdot T_{\text{о}p}$) с уже имеющимися (для $T_{\text{о}} = T_{\text{о}p}$). Если разница данных моделирования (в одни и те же моменты времени) не превышает величины графической различимости,

то еще раз удвойте T_δ и повторите моделирование. Заметив существенное расхождение результатов, вернитесь к предыдущему значению T_δ , приняв его в качестве предварительно выбранного шага моделирования $T_{\delta 0}$.

Если оказалось, что выбранный на предыдущем этапе шаг $T_{\delta 0}$ соответствует расчетному $T_{\delta p}$, то его необходимо вдвое уменьшить и снова провести сравнение результатов моделирования. На этом этапе уменьшать шаг дискретизации следует до тех пор, пока различие кривых переходных процессов будет несущественным. В качестве окончательного шага $T_{\delta 0}$ взять предыдущее значение T_δ .

При выполнении исследований здесь и далее для сравнения выводимых на экран графических данных моделирования целесообразно использовать режим измерения координат графиков, включив его соответствующей клавишей.

В заключение осуществите моделирование с шагом дискретизации $T_{\delta 0}$, увеличенным шагом $T_{\delta 1}$, при котором уже заметны существенные расхождения результирующих кривых, а также при $T_\delta = 2 \cdot T_{\delta 1}$. Занесите последнюю серию графиков в отчет. Сделайте заключение о необходимости обоснованного выбора шага дискретизации (моделирования) T_δ .

4.2. Анализ переходных процессов в линейных системах ЧАП и ФАП первого порядка при ступенчатом входном воздействии $\lambda(t) = A \cdot 1(t)$

Осуществите моделирование процессов в анализируемых линейных системах радиоавтоматики, взяв параметры систем и входного воздействия из предыдущего задания. Шаг дискретизации здесь и далее следует задать равным $T_{\delta 0}$ – экспериментально подтвержденному в п. 4.1 значению интервала дискретизации.

Убедитесь в установившемся характере выходных процессов систем и рассогласования в них, анализируя соответствующие графические зависимости на интервале времени наблюдения, превышающем как минимум втрое расчетное время установления t_y (см. п. 2.3). Полученные результаты моделирования – установившиеся ошибки $x_{уст}(t)$ – необходимо сопоставить с результатами аналитических расчетов установившихся ошибок, проведенных в п. 2.4. Расхождения результатов следует обосновать.

При выполнении данного задания и всех последующих необходимо использовать режим измерения координат результирующих графиков.

Установите время наблюдения процессов в системах в 1.5 раза больше расчетного времени t_y . Определите по полученным в ходе моделирования кривым выходных процессов систем $y(t)$ время установления t_y^3 . Сравните экспериментально полученное t_y^3 с расчетным. Сделайте выводы.

Увеличьте численное значение добротности системы K_0 в два, а затем в три раза. Вновь определите t_y^3 . При выполнении данной части задания обязательно следует изменять шаг дискретизации, уменьшив его соответственно в два, а затем в три раза по сравнению с изначально установленным. Занесите соответствующие графики в отчет. Прокомментируйте полученные результаты.

4.3. Исследование реакции линейных систем ЧАП и ФАП первого порядка на линейно нарастающее воздействие

Для выполнения задания необходимо ввести параметры воздействия $\lambda(t) = A \cdot t$, соответствующего линейно нарастающей частоте или фазе. Для этого параметр M полиномиальной модели задающего воздействия $\lambda(t) = A \cdot t^M$

положите равным единице. Скорость изменения частоты (фазы) – параметр A – следует взять равной $2N \text{ рад}/c^2$, параметры систем – из предыдущих заданий.

Определите сначала установившееся значение ошибки в системах $x_{ycm}(t)$, задав время наблюдения процессов в 3–5 раз больше времени установления t_y . Затем пронаблюдайте собственно переходной процесс и выход системы на установившееся значение ошибки слежения (время наблюдения – $(1 \dots 1.5)t_y$).

Графики изменения выходных значений $y(t)$ и ошибок $x(t)$ в обеих системах занесите в отчет. Сравните результаты и сделайте выводы. Убедитесь, что система ЧАП при воздействии $\lambda(t) = A \cdot t$ обладает зависимой от времени ошибкой по положению. На интервале времени $t_{\Delta} = (3 \dots 5)t_y$ определите по координатам двух точек параметры экспериментальной прямой, описывающей $x_{ycm}(t)$. Сравните полученные результаты с рассчитанными Вами в подготовительном задании и прокомментируйте их.

4.4. Исследование зависимости остаточной расстройки от начальной частотной $\delta\omega_c$ и добротности K_0 в линейных системах ЧАП и ФАП

Остаточной расстройкой в системах ЧАП и ФАП называется установившаяся ошибка $x_{ycm}(t)$ после отработки системой начальной расстройки, равной величине скачка частоты сигнала.

Исследуйте зависимость остаточной расстройки от начальной. Исходные параметры для моделирования системы ЧАП следующие: $K_0 = 2N$, $T_2 = 0.05N \text{ с}$, $M = 0$ (модель входного воздействия $\lambda(t) = A \cdot 1(t)$); для ФАП – $K_0 = 2N \text{ с}^{-1}$, $T_2 = 1 \text{ с}$ (или $K_0 = 1 \text{ с}^{-1}$, $T_2 = 1/(2N) \text{ с}$, см. п. 4.1), $M = 1$ (модель

$\lambda(t) = A \cdot t$). Шаг дискретизации $T_{\partial 0}$ взять из п. 4.1, время наблюдения – $(3...5)t_y$. Параметр A модели входного воздействия целесообразно задавать равным $\delta\omega_c = 2N, 3N$ и $4N$ рад/с соответственно.

Сделайте вывод о том, как зависит остаточная расстройка от начальной. Занесите результаты моделирования в отчет. Укажите на графике, при каких остаточных расстройках крутизна дискриминационной характеристики системы не соответствует принятой при линейном моделировании. Воспользуйтесь для этого характеристиками дискриминаторов, исследованных в первой работе.

Исследуйте зависимость остаточной расстройки от добротности системы K_0 при скачке частоты $\delta\omega_c = 2N$ рад/с. Для этого увеличьте значение добротности исходной системы K_0 в два, а затем в три раза. Определите $x_{уст}(t)$. При этом с увеличением K_0 следует пропорционально уменьшать шаг дискретизации T_{∂} по сравнению с $T_{\partial 0}$. Занесите соответствующие графики в отчет. Прокомментируйте полученные результаты.

4.5. Исследование реакции линейной системы ФАП первого порядка на линейное изменение частоты сигнала

Исходные данные для моделирования следует взять из предыдущих заданий, скорость изменения отслеживаемой частоты – из п. 2.5.

Методику исследований следует составить самостоятельно, основываясь на приобретенном Вами опыте моделирования линейных систем. В качестве элементов такой методики можно, в частности, предложить следующие: исследование переходного процесса и выхода системы на установившееся значение ошибки слежения, экспериментальное определение коэффициентов ошибок по скорости и ускорению, анализ зависимости установившегося

рассогласования от величины скорости изменения отслеживаемой частоты и добротности системы и др.

Комментарии и выводы по результатам выполнения данного задания, равно как и предыдущих, обязательны.

5. ВОПРОСЫ ПО ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЕ

1. В чем обнаруживается при моделировании неправильный выбор шага моделирования, если он существенно завышенным?

2. Следует ли ожидать асимптотического приближения переходного процесса в модели к установившемуся значению при бесконечно большом числе шагов моделирования?

3. От каких параметров зависит время установления в системе?

4. Сопоставьте установившиеся ошибки при ступенчатом и линейно нарастающем воздействиях в исследуемых системах.

5. Какова зависимость остаточной расстройки от начальной в линейной модели?

6. Какие результаты проведенного вами моделирования следует считать в действительности неверными из-за нелинейности реальной системы?

7. Сопоставьте свойства статических и астатических систем.

8. Рассчитайте установившиеся ошибки по скорости и положению в линейной системе с передаточной функцией $K_p(p) = 1/(p^2)$.

9. Составьте рекуррентные разностные уравнения для моделирования системы с передаточной функцией $K_p(p) = 10/(p(p+1))$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов А.И. Радиоавтоматика [Текст]: учеб. пособие / А.И. Соколов, Ю.С. Юрченко. - М.: Academia, 2010. -272 с.
2. Перов А.И. Радиоавтоматика [Текст]: учеб. пособие / А.И. Перов, В.Н. Замолодчиков, В.М. Чиликин - М.: Радиотехника, 2014. - 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие замечания	1
2. Подготовительные задания и указания по их выполнению	2
2.1. Задание первое	2
2.2. Задание второе	4
2.3. Задание третье	6
2.4. Задание четвертое	7
2.5. Задание пятое	7
3. Вопросы для самопроверки при подготовке к выполнению лабораторных исследований и защите работы	8
4. Лабораторные задания и указания по их выполнению	9
4.1. Выбор шага дискретизации $T_{\partial 0}$ при моделировании линейных следящих систем ЧАП и ФАП первого порядка	9
4.2. Анализ переходных процессов в линейных системах ЧАП и ФАП первого порядка при ступенчатом входном воздействии $\lambda(t) = A \cdot 1(t)$	11
4.3. Исследование реакции линейных систем ЧАП и ФАП первого порядка на линейно нарастающее воздействие	12
4.4. Исследование зависимости остаточной расстройки от начальной частотной $\delta\omega_c$ и добротности K_0 в линейных системах ЧАП и ФАП	13
4.5. Исследование реакции линейной системы ФАП первого порядка на линейное изменение частоты сигнала	14
5. Вопросы по выполненной работе	16
Библиографический список	16

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОШИБОК СИСТЕМ РАДИОАВТОМАТИКИ ПО ИХ ЛИНЕЙНЫМ МОДЕЛЯМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 4
по дисциплине «Радиоавтоматика»
для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные
системы и комплексы» и направления 11.03.01
«Радиотехника»

Составитель: Володько Александр Владиславович.

Компьютерный набор А.В. Володько.

Подписано к изданию 03.06.2019
Уч. Изд.л. 0,9

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14.