6. Моделирование переходных процессов в среде программного комплекса VisSim

6.а. Создать модель САР, используя передаточные функции её отдельных элементов.

Составляем структурную схему САР в среде VISSIM, пользуясь руководством по работе с пакетом динамического моделирования VISSIM 3.0 (см. приложение 1).

Запускаем программу VisSim нажатием левой кнопкой мыши по ярлыку VisSim 3.0 (FAP) панели управления через меню «Пуск» в Windows. В результате откроется окно VisSim.

Под построением схемы САР понимается набор функциональных блоков и соединение их между собой линиями прямых и обратных связей.

Функциональные блоки выбираются с помощью меню «Blocks», каждый из которых соответствует простому объекту с известными динамическими свойствами.

Ниже приведен пример построения в среде Vissim структурной схемы САР, передаточные функции элементов которой даны в таблице 7.

При моделировании САР сначала из палитры «Signal Producer» выбираем блок «slider» (задатчик), далее выбираем блоки передаточной функции (transferFunction), блоки усиления (gain), блок запаздывания (timeDelay) и блок моделирования скачка (string constant). Выходные сигналы регистрируются в блоке графиков (Signal Consumers/plot). Обратные связи реализуются с помощью формирователя связи (wirePositioner) и сумматора (summingJunction). После расположения блоков в окне Vissim c передаточными функциями в численных значениях, соединяем блоки линиями функциональных связей. В настройках моделирования «Simulate ->Simulation Properties…» устанавливается время начала и конца моделирования. Модель САР запускается на исполнение при нулевых начальных условиях нажатием кнопки на клавиатуре F5, командой «Simulation/Go» или кнопкой панели управления

.

После выполнения схемы подключаем блок графиков «plot» и модель запускается на выполнение.

Кривая переходного процесса исходной САР при изменении задания от 0 до 1 и нагрузки от 0 до 1 приведена на рисунке 18.

Полученные результаты (см.рисунок 18) можно вывести на печать с помощью команды «File/Print» в программе VisSim или преобразовать в документ Word 03/07. Для этого выполняем следующие действия: нажав левую клавишу мыши выделяем структурную схему САР расположенную в окне программы VisSim, копируем выделенную часть (нажатием клавиши Ctrl+C) и переносим в среду Word 03/07 нажатием клавиш Ctrl+V или воспользоваться закладкой в панели управления «Главная – Вставить».

Передаточные функции элементов САР

Таблица 7

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение блока | Уравнение | Операционное уравнение | Уравнение в передаточных функциях | Динамическая структура |
| ИУ | = | η=) | η=)  = | η(p)  ξ |
| У | = ∙ |  |  | η(p)  σ(p) |
| CM |  | = |  | σ(p)  µ(p) |
| PO | = | g(p)= |  | µ(p)  g(p) |
| ОР |  |  | = | λ(p)  x(p)  g(p) |



Рисунок 18 – переходной процесс в исходной САР при воздействии внешних факторов

6.б. Изменяя параметры настройки регулятора и T получить апериодический переходной процесс в замкнутой САР с перерегулированием - 0.2

Задавая различные параметрами неравномерности измерительного устройства - и значения времени сервомотора , получим апериодический переходный процесс в САР.

В первой схеме примем неравномерность измерительного устройства: = 0.03 и время сервомотора = 40 сек., во второй схеме: = 0.067 и = 40 сек и третьей схеме: = 0.8 и = 40 сек. После подключения схем к одному блоку plot и запуска процесса на выполнение видно, что схема имеющая настроечные параметры = 0.067 и = 40 сек., обеспечивает апериодический переходной процесс. Для рассматриваемой САР данный переходной процесс будет отвечает требованию задания, так как он обладает 20%-ым забросом (рисунок 19 б).

****

в)

а)

б)

Рисунок 19 – Апериодический переходной процесс

6.в. Получить зависимость запасов устойчивости (по фазе и амплитуде) от численных значений параметров настройки регулятора.

Для оценки запасов устойчивости используется критерий Найквиста. Критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по виду и по расположению амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы на комплексной плоскости.

Пусть передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

=

Передаточная функция замкнутой САР по каналу задания:

Характеристическое уравнение разомкнутой системы (n – го порядка) определено, как

Характеристическое уравнение замкнутой системы (n – го порядка) выражается, как = 0.

Рассмотрим, что представляет из себя выражение 1+:

= 1+ = = H (p),

где и ) – собственный операторы, соответственно замкнутой и разомкнутой САР.

Подставляя p=iw, получим частотную передаточную функцию

=Re(w)+i∙Jm=

где Re(w) – вещественная частотная характеристика (проекция вектора на действительную ось);

Jm - мнимая частотная характеристика (проекция вектора на мнимую ось);

– модуль вектора АФЧХ, представляющий собой комплексный коэффициент передачи разомкнутого контура;

- фазовая частотная характеристика.

Изменяя частоту в пределах от 0 до +∞, вычисляют значения Re(w) и Jm при работе в декартовой системе координат или и при работе в полярной системе координат. Затем по рассчитанным координатам строят точки в используемой системе координат и соединяют их между собой плавной кривой. Полученная плавная кривая называется амплитудно-фазовой частотной характеристикой и представляет собой след от перемещения конца вектора разомкнутой САР при изменении частоты w.

im

Re

w=0

∞

АФЧХ статической САР

АФЧХ астатической САР

Рисунок 20 – Амплитудно – фазная частотная характеристика.

Выделим три случая состояния равновесия разомкнутой системы : устойчива, нейтральна и неустойчива.

Первый случай – система в разомкнутом состоянии устойчива. Тогда изменение аргумента характеристического полинома разомкнутой системы согласно критерию устойчивости Михайлова будет равно;

=.

Для того, чтобы замкнутая система была устойчива, должно выполняться равенство:

=.

Отсюда следует, что приращение аргумента вектора равно нулю:

**=**- =

Это соотношение означает, что для устойчивости замкнутой системы необходимо, чтобы вектор начало которого находится в точке (-1; i0) , а конец, скользя по АФХ разомкнутой системы, не охватывал точку (-1; i0) при изменении от о до ∞.

Таким образом, критерий Найквиста гласит: Если разомкнутая система автоматического управления устойчива, то замкнутая система автоматического управления будет устойчива, если амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы не охватывает точку (-1; i0) при изменении от о до ∞.

Второй случай – система в разомкнутом состоянии неустойчива. При рассмотрении многоконтурных и одноконтурных систем регулирования, содержащих неустойчивые звенья, разомкнутая система может быть неустойчива. Пусть в разомкнутом состоянии система неустойчива, при этом характеристическое уравнение разомкнутой системы имеет m корней в правой полуплоскости. Тогда согласно принципу аргумента :

= .

Если потребовать, чтобы система в замкнутом состоянии была устойчива, то должно выполняться равенство:

= .

В этом случае угол поворота вектора H (iw) = 1+W(iw), будет равен

= .

Последнее говорит о том, что АФЧХ функции при изменении частоты от 0 до ∞ охватывает начало координат в положительном направлении раз.

Число оборотов вектора вокруг начала координат равно числу оборотов вектора АФХ разомкнутой системы вокруг точки (-1; i0). На основании этого вытекает следующая формулировка критерия Найквиста.

Если разомкнутая система автоматического управления неустойчива, то для того, чтобы замкнутая система автоматического управления была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы АФХ разомкнутой системы при изменении частоты от 0 до ∞ охватывала точку (-1; i0) в положительном направлении раз, где - число правых корней характеристического уравнения разомкнутой системы.

Третий случай – система в разомкнутом состоянии нейтральна. В этом случае система содержит интегрирующие звенья, а характеристическое уравнение разомкнутой системы имеет корни, равные нулю, и записывается в виде:

A(s) =

где v – порядок астатизма;

– полином, не имеющий корней, равных нулю.

Амплитудно - фазовая характеристика разомкнутой системы записывается в виде

.

При w = 0, = ∞ и АФЧХ претерпевает разрыв, поэтому решать вопрос об устойчивости замкнутой системы трудно, так как неясно, охватывает АФЧХ точку (1, i0) или нет.

Чтобы сохранить формулировку критерия для устойчивых в разомкнутом состоянии систем, при построении годографа Михайлова при изменении частоты от – ∞ до + ∞, обходят начало координат по полуокружности бесконечно малого радиуса r. Тогда нулевые корни дадут такой же угол поворота, как левые корни, т. е. каждый из векторов повернётся на угол π.

Обходу начало координат по малой дуге соответствует передаточной функции разомкнутой системы

=.

При r стремящейся к 0 и R стремящейся к ∞, аргумент ψ меняется от до при изменении φ от до .

Таким образом, при движении по полуокружности бесконечно малого радиуса в плоскости корней АФЧХ разомкнутой системы сама может быть представлена в виде вектора большой длины, поворачивающегося на комплексной плоскости по часовой стрелке на угол, равный -vπ. При изменении w от 0 до ∞, т.е. r стремящейся к нулю, 0≤ φ ≤ ,

изменяется по дуге бесконечно большого радиуса, описывая угол от 0 до .

Критерий Найквиста формулируется следующим образом. Система автоматического регулирования, нейтральная в разомкнутом состоянии, устойчива в замкнутом состоянии, если АФЧХ разомкнутой системы с его дополнением в бесконечности не охватывает точку (-1, i0) при изменении w от 0 до ∞.

Jm

Re

R=∞

w ∞

Jm

Re

R ∞

W(iw)

-1

v=2

v=1

w=0

W(iw)

б)

а)

-1

Рисунок 21 – АФЧХ нейтральной разомкнутой системы:

а) с астатизмом первого порядка, v =1; б) с астатизмом второго порядка, v =2

Как видно из рисунка 21, если разомкнутая система имеет астатизм первого порядка, то замкнутая система устойчива, так как точка (-1, i0) не охватывается, если же астатизм будет второго, то замкнутая система неустойчива – точка (-1, i0) охватывается АФЧХ разомкнутой системы.

В курсовой работе построение АФЧХ (критерий Найквиста) осуществляется с помощью команды Nyquist Response программного пакета VisSim. Для ее реализации разрываем главную обратную связь моделируемой САР и выделяем все её функциональные блоки кроме задатчика. На панели меню выбираем функцию Analyze и команду Nyquist Response. Затем задаем масштаб по осям х и у, запускаем исполнение программы нажатием кнопки на клавиатуре F5 или панели управления

, или командой «Simulation/Go». Рекомендуется соблюдать одинаковые масштабы по осям, а пределы изменения их должны быть достаточны для снятия численных значений запасов по амплитуде и фазе.

В тех случаях, когда объект регулирования обладает запаздыванием необходимо выделить звено запаздывания. Осуществляют замену звена запаздывания на его аппроксимацию с помощью ряда Паде первого порядка.

= = = .

Выполним анализ влияния параметров настройки регулятора на запасы устойчивости (по фазе и амплитуде) САР показанной на рисунке 19 б.

Получим АФЧХ для пяти значений . После этого на графиках АФЧХ проводим окружности единичного радиуса и находим запасы устойчивости по фазе и амплитуде. Результаты моделирования представлены в таблицах 8,9, 10 и 11. Анализ результатов показывает, что с увеличением неравномерности запас устойчивости по фазе и по амплитуде возрастает (рисунки 22, 23, 24, 25 и 26). При изменении времени сервомотора запас устойчивости по фазе и амплитуде возрастает не значительно ( рисунок 27).

При работе с таблицами и графиками запускаем программу Word 03/07. В открывшемся окне выбираем закладку «Вставка», функцию таблица и команду «Нарисовать таблицу». Заполняем ячейки таблицы численными значениями параметров настройки и фактическими запасами устойчивости исследуемых САР. Для построения графических функций воспользуемся той же закладкой «Вставка» и функцией «Диаграмма». Далее выбираем шаблон график. Затем правой кнопкой мыши щёлкнуть по графику и в открывшемся меню выбрать «изменить данные», а в открывшееся окне Excel внести необходимые численные значения для построения графика.

Анализ влияния параметров настройки регулятора (на запасы устойчивости САР.



0.75

Рисунок 22 – Модель САР и АФЧХ при



0.68

γ =170°

Рисунок 23 – Модель САР и АФЧХ при



γ =110°

0.5

Рисунок 24 – Модель САР и АФЧХ при



0.47

γ =89°

Рисунок 25 – Модель САР и АФЧХ при



0.25

γ =33°

Рисунок 26 – Модель САР и АФЧХ при

 Рисунок 27 – Модель САР и АФЧХ при

а)

б)

в)

γ =70°

°

0.76

γ =65°

°

0.72

γ =60°

0.63

в)

а)

б)

Таблица 8. Зависимость запаса устойчивости по фазе от

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | | | | |
| Неравномерность ИУ, | 0,025 | 0,035 | 0,04 | 0,05 | 0,067 |
| Запас устойчивости по фазе, γ° | 33 | 89 | 110 | 170 | - |

Рисунок 28 – Влияние неравномерности ИУ на устойчивость САР

Таблица 9. Зависимость запаса устойчивости по амплитуде от

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | | | | |
| Неравномерность ИУ, | 0.025 | 0,035 | 0,04 | 0,05 | 0,067 |
| Запас устойчивости по амплитуде, А | 0,25 | 0,47 | 0,5 | 0,68 | 0,75 |

Рисунок 29 – Влияние неравномерности ИУ на устойчивость САР

Таблица 10. Зависимость запаса устойчивости по фазе от

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | |
| Время сервомотора, (с) | 40 | 80 | 100 |
| Запас устойчивости по фазе, γ° | 60 | 65 | 70 |

Рисунок 30 – Влияние времени сервомотора на устойчивость САР

Таблица 11. Зависимость запаса устойчивости по амплитуде от

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | |
| Время сервомотора, (с) | 40 | 80 | 100 |
| Запас устойчивости по амплитуде, А | 0.63 | 0.72 | 0.76 |

Рисунок 31 – Влияние времени сервомотора на устойчивость САР

6.г. Оценить влияние параметров настройки регулятора на показатели качества переходного процесса.

Для определения качества переходного процесса будем изменять параметры настройки регулятора, после чего, на полученных графиках в блоке Plot определим время переходного процесса с учетом зоны нечувствительности равной 5% и максимальное динамическое отклонение регулируемой величины ⧍ %.

Переходные процессы моделируются при скачкообразном изменении нагрузки от 0 до 0,8 при нулевом значении регулируемой величины. Показатели качества переходных процессов представлены в таблицах 12, 13, 14 и 15. Зависимости показателей качества переходных процессов от параметров настройки регулятора показаны на рисунках с 32 по 45.

Анализ результатов показывает, что с увеличением неравномерности максимальное динамическое отклонение регулируемой величины ⧍% возрастает, а время переходного процесса уменьшается (рисунки 32, 33, 34, 35 и 36). При увеличении времени сервомотора время переходного процесса и динамическое отклонение возрастают (рисунок 37, 38, 39, 40 и 41).

Анализ влияния параметров настройки регулятора ( на показатели качества переходных процессов.



∆=30%

Рисунок 32 – Модель САР и переходной процесс при



∆=21%

Рисунок 33 – Модель САР и переходной процесс при



∆=11%

Рисунок 34 – Модель САР и переходной процесс при



Рисунок 35 – Модель САР и переходной процесс при



Рисунок 36 – Модель САР и переходной процесс при



∆=8%

Рисунок 37 – Модель САР и переходной процесс при



∆=13%

Рисунок 38 – Модель САР и переходной процесс при



∆=21%

Рисунок 39 – Модель САР и переходной процесс при



∆=26%

Рисунок 40 – Модель САР и переходной процесс при



∆=30%

Рисунок 41 – Модель САР и переходной процесс при

Таблица 12. Зависимость времени переходного процесса от

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | | | | |
| Неравномерность ИУ, | 0.04 | 0.067 | 0.1 | 0.15 | 0.2 |
| Время переходного процесса, (с) | 340 | 260 | 280 | 150 | 180 |

Рисунок 42 – Влияние неравномерности ИУ на время переходного процесса

Таблица 13. Зависимость максимального динамического отклонения регулируемой величины ⧍ от

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | | | | |
| Неравномерность ИУ, | 0.04 | 0.067 | 0.1 | 0.15 | 0.2 |
| Максимальное динамическое откло- нение регулируемой величины, ⧍% | 30 | 21 | 11 | 0 | 0 |

Рисунок 43 – Влияние неравномерности ИУ на максимальное динамическое отклонение регулируемой величины⧍

Таблица 14. Зависимость времени переходного процесса от

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | | | | |
| Время сервомотора, (с) | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| Время переходного процесса, (с) | 190 | 210 | 250 | 280 | 320 |

Рисунок 44 – Влияние времени сервомотора на время переходного процесса

Таблица 15. Зависимость максимального динамического отклонения регулируемой величины ⧍ от

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Значения | | | | | |
| Время сервомотора, (с) | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| Максимальное динамическое откло-нение регулируемой величины, ⧍% | 8 | 13 | 21 | 26 | 30 |

Рисунок 45– Влияние времени сервомотора на максимальное отклонение регулируемой величины ⧍