Лабораторная работа №1

Типовые законы регулирования.

1. Исходные данные

В качестве объекта управления рассмотрим двигатель постоянного тока (ДПТ). описываемый системой ДУ вида

 (1.1)

где  - постоянная цепи якоря;  - коэффициент её передачи;  - напряжение на зажимах цепи якоря;  - постоянная ДПТ;  - момент инерции ротора; I - ток якоря;  - скорость вращения ротора;  - момент нагрузки на валу ДПТ.

В совокупности со вспомогательным устройствами (будем считать их безынерционными) ДПТ образует НЧ проектируемой САУ (привода какого-либо механизма или машины). Поэтому система (1.1) должна быть дополнена алгебраическими уравнениями усилителя мощности и датчика скорости:

  (1.2)

  (1.3)

где - коэффициент передачи усилителя мощности;  - управляющий сигнал НЧ привода;  - сигнал с датчика;  - коэффициент его передачи.

2. ТИПОВЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

2.1. Элементарные составляющие типовых АУ

К типовым аналоговым АУ (или ЗУ), реализуемым в промышленно выпускаемых регуляторах и системах управления (например*,* электроприводах), относят следующие:

- пропорциональный (П -закон);

- интегральный (И -закон);

- пропорционально - интегральный (ПИ-закон);

- пропорционально - дифференциальный (ПД -закон)

*-* пропорционально -интегрально-дифференциальный (ПИД – закон)

Основными составляющими типовых АУ, реализующими законы любой сложности являются П -закон, И- закон и Д-закон. Последний не является при этом типовым; он может лишь входить в качестве составляющей в болеесложные законы, либо использоваться для коррекции динамических свойств устройств или объектов.

П -закон управления

Запись пропорционального АУ во временной области имеет вид:

 (2.1)

гдe  - номинальная для каждой системы величина управляющего сигнала; - ошибка управления; х и - заданное и текущее значения управляемой переменной. Эта же запись в приращениях может быть представлена выражением

 (2.1а)

а передаточная функция (ПФ) звена, реализующего П -закон

  (2.1b)

Сведения, касающиеся частотных и иных характеристик П -звена, можно найти в работах (3-6). К основным же свойствам П -закона относятся:

1) статизм (для того, чтобы появился и сохранялся управляющий сигнал , необходимо наличие ошибки управления ; поэтому при пропорциональном управлении неизбежна установившаяся ошибка отработки входных сигналов, ограниченных по амплитуде);

2) быстродействие (управление мгновенно меняется с появлением отклонения );

3) простота реализацией настройки.

Этот закон рекомендуется применять для управления объектами невысокого порядка без запаздывания. Повышение коэффициента усиления регулятора приводит к увеличению быстродействия и уменьшению статической ошибки регулирования, но, в общем случае, снижает устойчивость системы. Такая альтернатива дает возможность ставить и решать задачи параметрической оптимизации П закона, нужно, однако, заметить, что в отдельных случаях повышение к может, до определенных пределов, наоборот увеличивать устойчивость.

Пропорциональный закон является основой для всех многопараметрических ЗУ, а при решении задач синтеза определение параметра его настройки является, обычно, ключевым этапом.

Д-закон управления

Во временной области идеальный Д -закон управления описывается дифференциальным уравнением (ДУ) вида

 (2.2)

или в приращениях

 (2.2а)

Соответственно, ПФ Д -звена имеет вид

 (2.2b)

Настроечная константа этого закона -  - определяет интенсивность воздействия по производной.

Как, уже указывалось, Д -закон не может выполнять функции управ­ляющего устройства (УУ) или главного регулятора. Это связано о тем. что он реагирует, согласно (2.2), лишь на скорость изменения ошибки и безразличен к ее абсолютному значению в установившемся состоянии ( для  ). Однако в составе сложных АУ он значительно повышает быстродействие и уменьшает динамическую ошибку управления за счет ”предсказания” дальнейшего ее поведения, а его корректирующее воздействие в замкнутых контурах обеспечивает снижение или повышение интенсивности изменения корректируемого сигнала в зависимости от знака обратной связи.

В чистом виде (идеальный) Д -закон нереализуем [7] так как соответствует предсказанию поведения функций при еще не найденном решении. Однако приближение этого закона может быть получено практически сколь угодно точное. Этот вопрос рассматривается ниже.

И -закон управления

Данный закон описывается ДУ следующего вида:

 (2.3)

или эквивалентным ему интегральным уравнением

 (2.3а)

Здесь  представляет собой настроечную константу И -закона и носит название время интегрирования (в технической литературе прошлых лет применялся термин время изодрома). Увеличение  приводит к замедлению нарастания управляющего сигнала при наличии ошибки управления.

Для И -звена ПФ описывается обратным (2.2b) выражением

 (2.2b)

Этот закон часто называют “управление с памятью” или управлением по накопленному опыту изменения ошибки. Его фундаментальные свойством является астатизм первого порядка, т.е. отсутствие установившейся ошибки управления при действии на систему ограниченных по величине входных воздействий (как задающих, так и возмущающих). Это объясняется тем., что управляющий сигнал , согласно (2.3а), меняется во времени до тех пор, пока . Он как бы "ищет" такое значение управления, которое компенсирует влияние входного воздействия. Однако поисковый характер И -закона определяет также и его основной недостаток -низкое быстродействие. Кроме того, включение в замкнутую систему И -звена снижает степень его устойчивости за счет опускания фазочастотной характеристики разомкнутой системы на *.* Интегральный закон управления рекомендуется применять в тех случаях, когда недопустима установившаяся ошибка, а быстродействие объекта значительно выше требуемого в проектируемой системе.

Общая оценка элементарных составляющих АУ

Итак, пропорциональная составляющая реализует постоянное наблюдение за текущим значением ошибки регулирования и мгновенно вырабатывает управление, стремящееся ее уменьшить. Дифференциальная составляющая следит за тенденцией изменения ошибки регулирования и вырабатывает составляющую закона управления, стремящуюся предвосхитить появление ошибки или уменьшить интенсивность ее нарастания. Наконец, интегральная составляющая запоминает прошедший переходный процесс подавления ошибки и вырабатывает составляющую управления, компенсирующую влияние установившегося на данный отрезок времени значения внешнего воздействия.

Из рассмотренных составляющих П и И входят в число самостоятельных типовых законов и реализуются в промышленно выпускаемых регуляторах и системах управления

2.2. Составные типовые законы управления

Сложные законы управления формируются путем суммирования элементарных составляющих, каждая из которых привносит в общий закон свои положительные свойства и частично компенсирует недостатки дру­гих составляющих. Кроме П и И законов наиболее распространенными являются три составных типовых аналоговых закона управления: ПД, ПИ и ПИД законы

ПД -закон управления

Математическая модель ПД - закона с идеальной Д -составляющей задается уравнением

 (2.4)

Анализ этого выражения показывает, что в статике ПД - регулятор работает как пропорциональный, т.е. характеризуется наличием статической ошибки регулирования, уменьшающейся с увеличением **. Однако в динамике ПД -закон является более эффективным, т.к. обладает более высоким быстродействием и обеспечивает меньшую степень колебательности замкнутой системы. Последнее обеспечивается действием дифференциальной составляющей, описанным выше.

Реализация ПД -закона в виде (2.4) обеспечивается регулятором с так называемыми "несвязанными" настройками, т.е. аддитивные П- и Д –составляющие, характеризуются независимым изменением соответствующих настроечных параметров,  и . Вряде случаев либо из-за простоты реализации, либо из-за удобства настройки на процесс ММ ПД -регулятора рассматривают в виде

 (2.4а)

где .

При реализации регулятора в соответствии с выражением (2.4а) изменение  приводит к изменению интенсивности действия Д-составляющей. Это необходимо учитывать как при расчете параметров, так и при настройке регулятора на реальном объекте.

Таким образом, ПФ ПД -регулятора в зависимости от реализации могут иметь вид либо

 (2.4b)

либо

 (2.4c)

где верхние индексы “нс” и “св” символизируют "несвязанность" или "связанность" настроек используемого устройства.

Необходимо отметить, что законы (2.4) и (2.4а) физически нереализуемы из-за нереализуемости Д -составляющей. В ММ реальных устройств порядок левой части ДУ должен быть не ниже порядка правой (8). Поэтому ПФ реальных ПД -звеньев должны иметь как минимум дву­член в знаменателе;

 (2.4d)

 (2.4e)

где  - эквивалентная постоянная времени звена, демпфирующего Д –составляющую; индексы “рн” и “рс” отмечают ПФ реального ПД -звена с "несвязанными" и "связанным" настройками соответственно.

Данный ЗУ может использоваться как самостоятельный, но чаще входит в состав более сложных законов. Иногда он реализуется с единичным коэффициентом передачи и используется в сочетании с П -законом.

ПИ -закон управления

Соединение пропорциональной и интегральной составляющих дает ПИ –закон, ММ которого имеет вид

  (2.5)

в случае несвязанных настроек и

 (2.5а)

при их связанности, причем в последнем случае реальное значение времени интегрирования составляет 

Передаточные функции, соответствующие уравнениям (2.5 б) (2.5а) имеют вид

 (2.5b)

 (2.5с)

В промышленных системах автоматизации ПИ -регулятор является наиболее распространенным устройством управления. Это объясняется высокими эксплуатационными свойствами реализуемого им алгоритма, который обеспечивает среднее быстродействие между И- и П- законами, обладает астатизмом 1-го порядка, как и И -закон, а также обеспечи­вает хорошее сочетание устойчивости и динамической точности.

ПИД -закон управления

Наиболее эффективным, но и наиболее сложным из типовых промышленных законов управления является ПИД –закон, идеальная ММ которого описывается ДУ следующего вида:

 (2.6)

или в более наглядной интегро-дифференциальной форме

 (2.6а)

Динамическое звено с такой ММ описывается ПФ вида

 (2.6b)

С учетом физической реализуемости действительный вид ПФ может быть представлен выражением

 (2.6с)

которое при условиях  и  приводится к дробно - рациональной функции

 (2.6d)

В действительности же реальный ПИД -регулятор чаще всего реализуют как последовательно включенные ПИ- и ПД –регуляторы, т. е.

 (2.6e)

В результате аддитивного наложения свойств различных составляющих ПИД -закон сочетает в себе все их достоинства и нивелирует недостатки. Он имеет высокое быстродействие и обладает большими возможностями по обеспечению устойчивости замкнутой системы, уступая в этом только ПД -закону. Наличие астатизма 1-го порядка гарантирует нулевую установившуюся ошибку при воздействиях, ограниченных по амплитуде, и ограниченную коэффициентом усиления разомкнутой системы ошибку отработки линейно меняющихся во времени входных воздействий. Эксплуатационными недостатками его является сложность реализации и настройки, а также чувствительность к высокочастотным помехам (это же характерно и для ПД -регулятора).

3. Структура работы

1. Получить частотные и временные характеристики типовых законов регулирования. (П, И, ПИ, ПД, ПИД). Оценить влияние параметров регуляторов на частотные и временные характеристики. Выявленные зависимости описать.

2. Создать замкнутую структуру САУ, состоящую из регулятора и объекта управления

ОУ

РЕГ

 -

3. В звено регулятора ввести передаточную функцию пропорционального регулятора W(p)=Кр=1.

4. Произвести анализ разомкнутой САУ.

1) По расположению полюсов на комплексной плоскости сделать вывод об устойчивости или неустойчивости разомкнутой системы, состоящей из УОУ и П-регулятора, и возможности применения формулировок критерия Найквиста для устойчивых разомкнутых систем.

2) По графикам с использованием критерия устойчивости Найквиста определить устойчивость данной системы при замыкании ее ООС.

3) Графики распределения корней, АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ включить в отчет по лабораторной работе.

5. Провести расчет и исследование замкнутой САУ с П-регулятором.

1) Из полученных графиков ЛАЧХ и ЛФЧХ найти запасы устойчивости по амплитуде и по фазе. Для неустойчивых в замкнутом состоянии систем запасы устойчивости будут отрицательными. Результаты занести в протокол лабораторной работы.

2) Для устойчивых замкнутых САУ включить ООС, построить частотные и временные характеристики. По графику ЛАЧХ найти частоту среза с. По графику переходного процесса определить показатели качества системы: время переходного процесса tp и перерегулирование . Результаты занести в протокол.

3) По графикам ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САУ найти, на сколько децибел L нужно поднять (L > 0) или опустить (L < 0) ЛАЧХ, чтобы система была устойчивой, и запас устойчивости по амплитуде составил бы 10-15 дБ.

Найти коэффициент передачи делителя

|  |  |
| --- | --- |
| Kp=10 | (3.1) |

и внести его в передаточную функцию П-регулятора W(р)=Kр

4) Для нового значения Kр повторить п. 5 (1) и (2). Результаты занести в протокол.

6. Рассчитать начальные значения параметров настройки ПИ, ПД-регулятора, обеспечивающие устойчивость замкнутой САУ.

1) Начальное значение Кр берется из П-закона (п. 5 (3)).

2) Для ПИ-закона начальное значение Ти=100Tmax, где Tmax - наибольшая постоянная времени исследуемого УОУ. Ее можно найти по распределению полюсов на комплексной плоскости:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3.2) |

где min - расстояние по действительной оси от начала координат до ближайшего полюса.

3) Для ПД-закона Тд=0.01Tmin, где Tmin - наименьшая постоянная времени УОУ, определяемая по аналогии с ПИ-законом:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3.3) |

где max - расстояние по действительной оси от начала координат до наиболее удаленного полюса.

4. Содержание отчета.

1. Цель работы и краткая теория.

2. Частотные и временные характеристики типовых законов регулирования. Анализ и выводы по каждому закону.

3. Структура САУ. Расчет параметров настройки П, ПИ, ПД регуляторов.

4. Временные характеристики для каждого случая из п.3.

5. Проанализировать влияние параметров настройки регуляторов на временные характеристики (оценить изменение параметров качества: время регулирования и перерегулирование).

6. Вывод по результатам работы.