

Лабораторная работа 1

Принцип подчиненного регулирования в электромеханических системах

Цель работы: ознакомление со стандартными настройками регулируемого электропривода, построенного по принципу подчинённого регулирования, а также проведение исследований подобных электроприводов с использованием компьютерных моделей.

Краткие теоретические сведения

а) Стандартные настройки регулируемого электропривода

Будем считать, что замкнутый контур регулирования некоторой переменной включает в себя регулятор с передаточной функцией (ПФ) и объект регулирования с ПФ . ПФ разомкнутого контура:

(1)

Примем, что ПФ объекта регулирования имеет вид

,

(2)

где t - постоянное запаздывание; T_i – постоянные времени элементов объекта регулирования, расположенные в порядке убывания по значению.

Предположим, что ПФ регулятора реализована в виде

,

(3)

где - число больших и средних постоянных времени. Тогда ПФ разомкнутого контура:

.

(4)

Таким образом, введением регулятора с ПФ (3), исключено инерционных звеньев, обладающих большими и средними T_i , сокращено частных коэффициентов и введено интегрирующее звено.

Исключение из ПФ разомкнутого контура звеньев с большими и средними постоянными времени открывает возможности повышения быстродействия контура регулирования.

Введение интегрирующего звена обеспечивает повышение точности регулирования, так как контур приобретает астатизм первого порядка.

Пытаться компенсировать весьма малые постоянные времени звеньев контура нецелесообразно, так как технические трудности компенсации быстро возрастают при уменьшении значений постоянных времени, а влияние на быстродействие контура соответственно убывает. Особые трудности представляет компенсация дискретности и малого запаздывания t ряда быстродействующих регулируемых преобразователей напряжения, управляющих скоростью вращения привода. Как следствие, в (4) остались некомпенсированными малых постоянных T_i и постоянная t .

Достоинством (4) является возможность выбора требуемого значения постоянной T_o . Этот выбор и определяет настройку контура регулирования.

Обычно выбирают T_o из условия , где является наибольшей из оставшихся некомпенсированными постоянных T_i . При этом логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) разомкнутой системы имеют вид, показанный на рис.1 (сплошные линии).

Выбор T_o можно осуществить так, чтобы для запаса по фазе выполнялось приближённое равенство

(5)

где - суммарная некомпенсированная постоянная контура регулирования, эквивалентная по потере запаса по фазе на частоте среза всем его реальным некомпенсированным инерционностям.

С учётом (5) ПФ (4) можно с достаточной точностью представить в виде

,

(6)

для которой отличается от исходной в области высоких частот (пунктирная линия).

С учётом (6) ПФ замкнутого контура регулирования будет иметь вид

,

(7)

а корни характеристического уравнения равны:

,

(8)

где .

При движении электропривода в переходном процессе при скачке задания и нулевых начальных условиях определяется следующим уравнением:

,

(9)

где - установившееся значение реакции системы.

Суммарная некомпенсированная постоянная полностью определяет быстродействие электропривода по показателю времени регулирования, составляющему величину

.

(10)

Колебательность электропривода определяется соотношением постоянных контура ; этот же показатель определяет перерегулирование. Следовательно, подбором значения можно обеспечить требуемые динамические показатели при быстродействии, ограниченном уровнем суммарной некомпенсированной постоянной времени .

Рассматривая (3), можно убедиться, что ПФ регулятора по мере увеличения числа компенсируемых постоянных усложняется. Уже при необходим пропорциональный интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД регулятор), и с дальнейшим увеличением в его ПФ требуется двукратное и большей кратности дифференцирование входного сигнала.

Исходя из требования необходимой помехозащищённости контура допускают лишь однократное дифференцирование сигнала, то есть компенсируют не больше двух больших и средних постоянных времени. Если в контуре регулирования координаты x имеется больше двух подлежащих компенсации постоянных , прибегают к введению подчинённых контуров регулирования.

Допустим, необходимо регулировать выходную переменную системы, структурная схема которой показана на рис.2,а, причём по условиям помехозащищённости желательно применить регуляторы не сложнее ПИ-регулятора. Эту задачу можно решить, если ввести вспомогательные контуры регулирования таким образом, чтобы в каждом контуре оказалась только одна из подлежащих компенсации постоянных , что представлено на рис.2,б. В структуре на рис.2,а требуется компенсация трёх больших и средних постоянных , и регулятор при одноконтурной системе в ПФ содержит бы дифференцирующую составляющую второго порядка, то есть в соответствии с (3)

,

где .

Рассмотрим, как влияет на регулирование координаты x_3 введение двух вспомогательных контуров регулирования переменных x

x_1
и x_2

x_3
(рис.2,б). Для этого вначале определим ПФ регулятора внутреннего контура регулирования переменной x_1

x_2
, пользуясь изложенным методом.

Для первого контура желаемая ПФ

.

(11)

ПФ объекта регулирования переменной x_1

.

(12)

ПФ регулятора

,

(13)

где .

Как и требовалось, получен ПИ-регулятор. ПФ замкнутого первого контура

.

(14)

С учётом (14) ПФ объекта регулирования переменной x_2 принимает вид:

(15)

Если выбрать таким образом, чтобы внутренний контур представлял собой высокодемпфированное звено, то (15) можно существенно упростить. Выполненные расчёты и практика настройки регулируемых электроприводов показывают, что без большой погрешности для оценки качества регулирования в знаменателе (14) при переходе к (15) можно отбросить член второго порядка, при этом

(16)

Таким образом, оценка некомпенсируемой постоянной для второго контура будет , а ПФ регулятора x_2 для получения желаемой ПФ второго контура

(17)

будет равна

,

(18)

где .

Вновь получена ПФ ПИ-регулятора. ПФ замкнутого второго контура

(19)

Выбором ζ и здесь обеспечиваются свойства высокодемпфированного колебательного звена, что при переходе к регулированию основной координаты позволяет аналогично предыдущему случаю упростить ПФ объекта регулирования для регулятора и получить для неё выражение

(20)

где .

При этом ПФ замкнутого внешнего контура регулирования приблизительно соответствует колебательному звену второго порядка

.

(21)

Вспомогательные контуры на рис.2,б называют подчинёнными контурами регулирования, а саму структуру – структурой подчинённого регулирования координат электропривода.

Динамические показатели качества регулирования каждой переменной определяются соотношением постоянных . На рис.3 представлен ряд зависимостей при различных значениях . Если , то переходный процесс имеет апериодический характер, а время регулирования . Уменьшение до явно увеличивает колебательность, появляется перерегулирование, при этом время регулирования уменьшается. Дальнейшее уменьшение влечёт за собой быстрое возрастание колебательности и перерегулирования, а эффект уменьшения постепенно снижается. Значение обеспечивает малое время регулирования при практически пренебрежимо малом перерегулировании . Такая настройка считается оптимальной для множества электроприводов, поэтому используется в качестве основной стандартной настройки и называется настройкой на технический оптимум.

При настройке всех контуров регулирования на технический оптимум () ПФ i -го

разомкнутого контура можно записать так:

.

(22)

То же для замкнутого контура:

.

(23)

Следовательно, при принятых допущениях переходные процессы в -м контуре при настройке на технический оптимум по характеру совпадают с представленным для на рис.3. Расчётами установлено, что в результате влияния отброшенных в (23) членов более высокого порядка при увеличении номера контура несколько увеличивается перерегулирование и возрастает колебательность. Однако в большинстве случаев это влияние можно полагать пренебрежимо малым.

В случаях, когда требуется более высокая точность регулирования, при том же подходе применяют стандартную настройку на симметричный оптимум. При такой настройке желаемую ПФ разомкнутого контура регулирования записывают в виде

(24)

Формула (24) записана для первого контура и может быть применена для следующих контуров, если в неё подставлять соответствующие значения. Здесь, как и ранее, предполагается, что все некомпенсированные инерционности исходного объекта заключены в первом, внутреннем контуре.

ЛАЧХ, соответствующая (24), представлена на рис.4. Контур при этом обладает астатизмом второго порядка, что увеличивает точность регулирования, особенно в процессах, близких к статическим. Вместе с тем наличие протяжённого участка в низкочастотной части с наклоном -40дБ/дек уменьшает запас устойчивости по фазе и увеличивает перерегулирование, которое может достигать 56 %, что во многих случаях неприемлемо.

При средних и высоких частотах ЛАЧХ при настройке на технический и симметричный оптимум совпадают. Следовательно, быстродействие и затухание колебаний в системе при этих двух стандартных настройках примерно одинаковы.

б) Описание исследуемого привода постоянного тока

На рис.5 и 6 представлены соответственно структурная схема электропривода постоянного тока и схема исследуемой модели привода. В структурной схеме регулятор тока якоря двигателя с ПФ подчинён регулятору скорости с ПФ, вырабатывающему задающее воздействие для регулятора тока. Усилитель мощности привода,

представленный ПФ , подаёт управляющее напряжение на якорную обмотку двигателя, имеющую омическое и индуктивное сопротивления и постоянную времени . Коэффициент C определяет связь момента двигателя с током якорной обмотки и э.д.с. вращения двигателя со скоростью вращения . В схеме также использованы обозначения: T_m - момент сопротивления; T_J - момент инерции подвижных частей привода; k_1 и k_2 - коэффициенты передачи датчиков тока и скорости соответственно.

В схеме модели, построенной в пакете SIMULINK системы MATLAB, регулятор скорости представлен ПФ , а регулятор тока – ПФ . Остальные обозначения понятны и не требуют пояснений. При стандартной настройке контура тока часто влиянием противо-э.д.с. пренебрегают, считая, что электрические процессы в контуре тока протекают значительно быстрее, чем механические. При настройке контура тока на технический оптимум в качестве некомпенсируемой постоянной времени берут постоянную времени усилителя в случае, когда , что имеет место на практике. В соответствии с выражениями (6) и (7) при техническому оптимуму соответствует ПФ замкнутого контура тока

(25)

и ПФ разомкнутого контура тока

(26)

Из (26) имеем

(ПИ – регулятор),

(27)

где

.

(28)

При расчёте контура скорости на «технический оптимум» ПФ регулятора скорости должна быть такой, чтобы обеспечить равенство:

,

(29)

где , причём в данном выражении используется приближённое представление ПФ контура тока, настроенного на «технический оптимум»

.

(30)

Требуемая ПФ регулятора скорости из (29):

(П – регулятор).

(31)

Если контур скорости требуется настроить на «симметричный оптимум», то ПФ разомкнутого контура скорости в соответствии с (24) должна быть

(32)

Следовательно, ПФ регулятора скорости должна быть равна

(33)

где определяется выражением (31).

Порядок выполнения работы

1. В командном окне MATLAB задать исходные данные модели привода с учётом настройки регулятора тока и регулятора скорости соответственно на «технический» и «симметричный» оптимумы.

Исходные данные:

2. Запустить пакет Simulink из командного окна MATLAB, выбрав команду New Model (Новая модель) из меню File (файл) или нажав соответствующую пиктограмму в панели

инструментов .

При запуске Simulink открывается два окна:

- a) простое окно «untitled» – заготовка для создания новой модели;
- b) окно «Library: simulink» с перечнем основных разделов библиотеки simulink.

1. Дав своё имя окну «untitled», набрать модель привода в соответствии с рис.6, используя при этом библиотеку simulink.

2. Используя меню «Simulation» окна модели и «Parameters» открывающегося меню, задать модельное время старта и окончания счёта при запуске процесса моделирования (start time: 0.0; stop time: 0.5). В процессе выполнения работы время окончания счёта задаётся с учётом сложившихся обстоятельств (время окончания переходного процесса).

3. Снять переходные характеристики и контура тока, настроенного на «технический» оптимум. Для этого предварительно задать численные значения параметров сигналов и блоков: ; время старта сигнала положить равным 0.25, а остальных сигналов – нулю (чтобы задать или изменить параметры блока, необходимо дважды щёлкнуть по нему

левой кнопкой мыши, после чего будет открыто окно параметров блока). Процесс счёта модели запускается щелчком мыши по пиктограмме . Объяснить поведение кривых на графиках (графики переходных процессов можно наблюдать, дважды щёлкнув по соответствующему индикатору).

1. Повторить п.5, не учитывая влияния противо-э.д.с. двигателя, положив или .

2. Снять переходные характеристики и контура скорости, настроенного на «симметричный» оптимум, задав . Остальные параметры модели оставить прежними. Объяснить поведение кривых на графиках.

3. Повторить п.7 при , то есть не учитывая влияния противо-э.д.с. в модели привода. Сравнить график с таким же графиком, полученным в п.7.

4. Снять статическую характеристику , повторяя п.7 для нескольких значений , лежащих в диапазоне $0.02^{1/4}1$, используя при этом установившиеся значения реакций после ступенчатого изменения . Дать пояснения полученной характеристике.

5. Настроить контур скорости на «технический» оптимум, заменив ПФ изодромного звена регулятора скорости на , то есть на единицу. Повторить п. п.7, 9 для данного случая. Диапазон изменения $U4$ выбрать самостоятельно. Дать пояснения полученным графикам. По графикам определить также значение перерегулирования , время установления и время регулирования и сравнить их значения с теоретическими.

6. Используя источник синусоидального сигнала, снять АЧХ разомкнутого контура скорости модели, настроенного на «симметричный» оптимум. Используя полученные данные, построить ЛАЧХ разомкнутого контура и сравнить её с теоретической асимптотической ЛАЧХ.

Отчёт о проделанной работе должен содержать схему исследуемой модели привода, графики переходных и статических характеристик, а также пояснения к полученным графикам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев В. И. Теория электропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.

2. Михайлов О. П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1990. 304 с.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДВУХМАССОВОЙ УПРУГОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Цель работы: проведение ряда исследований моделей электропривода в пакете Simulink системы MATLAB при жестких связях в механической системе (МС) и с учетом упругости механических передач, направленных на выяснение отрицательного влияния на привод наличия упругих связей в механической части системы и возможных способов коррекции электроприводов, имеющих такие связи.

Краткие теоретические сведения

Двухмассовая МС

Часто для упрощения расчетов сложную многомассовую МС с упругими связями сводят к эквивалентной двухмассовой (рис.1).

Рис.1. Эквивалентная двухмассовая система

На рис.1 введены обозначения:

M - вращающий момент электродвигателя привода;

J_1 - момент инерции ротора (якоря) двигателя;

M_c, J_2 - приведенные к валу двигателя моменты сопротивления и инерции нагрузки;

M_{12} - момент, возникающий в упругом элементе, соединяющем обе массы;

C_{12} - приведенная жесткость механической передачи;

ω_1, ω_2 - угловые скорости вращения первой и второй масс соответственно;

b_1, b_2, b_{12} - коэффициенты вязкого трения вращающихся масс и упругого элемента соответственно.

Уравнения движения двухмассовой МС в операторной форме [1], [2]:

$$M - M_{12} = z_1 \omega_1;$$

$$M_{12} - M_c = Z_2 W_2; \quad (1)$$

$$M_{12} = Z_{12}(W_1 - W_2),$$

где $z_1 = J_1 s + b_1$, $z_2 = J_2 s + b_2$, $z_{12} = C_{12}/s + b_{12}$ – операторные механические сопротивления первой и второй масс и упругого элемента; s - переменная преобразования Лапласа.

Решение системы (1) относительно W_1 и W_2 :

(2)

Систему уравнений (2) записывают компактно в терминах механических проводимостей как

(3)

где Y_{11} , Y_{22} , $Y_{21}=Y_{12}$ –механические проводимости двухмассовой МС, определяемые из (2) выражениями:

(4)

На практике принимают меры , чтобы уменьшить трение в приводе и увеличить чувствительность перемещений рабочих органов. Поэтому в первом приближении при анализе свойств двухмассовой упругой системы берут $b_1=b_2=b_{12}=0$, откуда $z_1 \gg J_1 s$; $z_2 \gg J_2 s$;

z

12

»С

12

/s. Подстановка данных значений в (2) приводит к выражениям:

(5)

где $J_S = J_1 + J_2$.

Характеристическое уравнение системы

$$J_1 J_2 s^3 + C_{12} J_S s = 0$$

имеет корни $s_1=0$ и $s_{2,3}=\pm j\omega_0$. Величину

== (6)

называют резонансной частотой двухмассовой МС,

резонансной частотой колебаний первой массы при жесткой заделке второй массы, - резонансной частотой второй массы при жесткой заделке первой массы.

В теории электропривода широко используют коэффициент соотношения масс g , определяемый как

В частотной области при $s=j\omega$ из (5) можно после несложных преобразований получить

(7)

Качественный характер амплитудных частотных характеристик представлен на рис.2.

Рис 2. Амплитудно-частотные характеристики двухмассовой МС

При наличии вязкого трения, которое в практических случаях не сильно демпфирует частотные характеристики, последние сохраняют свой вид, однако в точках резонанса механические проводимости принимают значения, отличные от нуля и бесконечности.

На рис. 3 представлены кривые переходных процессов недемпфированной двухмассовой упругой системы при приложении к ней скачком электромагнитного момента двигателя $M(t)=M_1 1(t)$, соответствующие выражения [1]:

; , (8)

где $e_{cp} = M_1/J_S$ - среднее ускорение системы.

Рис.3. Переходные процессы недемпфированной двухмассовой МС

Наличие в системе сил внутреннего вязкого трения приводит к тому, что колебательная составляющая скоростей с течением времени затухает, однако естественное затухание, как правило, невелико.

На рис.4 представлена структурная схема двухмассовой МС, построенная в соответствии с уравнениями (1). Схема включает в себя перекрестные связи по скорости второй массы и упругому моменту.

Рис.4. Структурная схема двухмассовой МС
Описание структурной схемы исследуемой системы

На рис.5 показана структурная схема исследуемого привода с двухмассовой механической системой, построенная с учетом упругой связи между вращающимися массами и использующая известный принцип подчиненного регулирования.

Схема включает два контура регулирования: контур регулирования скорости вращения (главный контур) и контур регулирования тока якорной обмотки двигателя постоянного тока (подчиненный контур). Обратная связь контура скорости осуществляется по скорости вращения ω_1 первой массы МС, что часто имеет место в станочных приводах. Регулятор скорости (ведущий) с передаточной функцией W_{pc} вырабатывает задающее воздействие u

для контура тока с регулятором тока, описываемым передаточной функцией W_{pt}

и управляемым преобразователем напряжения с передаточной функцией $W_{п}$

. Коэффициенты передачи датчиков тока и скорости обозначены как k_t

и k_s

соответственно. Связь тока I_a якорной обмотки двигателя с управляющим напряжением U и противо-эдс якоря e определяется операторным сопротивлением якорной цепи Z_a

$$I_a = R_a^{-1} U - e$$

$$+ sL_a$$

, где R_a

, L_a

- соответственно омическое сопротивление и индуктивность якорной цепи двигателя. Коэффициент пропорциональности C определяет связь между током якорной цепи и вращающим моментом M двигателя, а также между противо-эдс e и скоростью вращения первой массы (якоря двигателя) ω_1

. Пунктиром на схеме выделена структура двухмассовой механической системы, входами которой яв-

ляются вращающий момент M и момент сил сопротивления M_c , а выходами – скорости вращения W_1 и W_2 первой и второй масс соответственно. Остальные обозначения соответствуют обозначениям рис.4.

В данной работе предлагается рассмотреть ситуацию, когда регуляторы контуров тока и скорости имеют стандартные настройки на "технический оптимум", рассчитанные без учета упругости вала между первой и второй массами МС, т.е. при $C_{12} \rightarrow \infty$. При этом полагается также, что силовой преобразователь описывается передаточной функцией $W_{\pi}(s) = k_{\pi} / (ts + 1)$, причем $t \ll T$

я
.

При абсолютно жестком вале между массами ($C_{12} \rightarrow \infty$) $W_1 = W_2$, а вращающий момент двигателя M и скорость вращения W_1

связаны соотношением

(9)

где $Z_S = Z_1 + Z_2$.

Выражение (9) можно получить также из рассмотрения схемы модели МС привода,

представленной на рис.6, устремив параметр жесткости вала C_{12} к бесконечности.

Известно [2], что стандартная настройка регулятора контура на "технический оптимум" предполагает получение передаточной функции разомкнутого контура в виде

где T_m - малая, некомпенсируемая постоянная времени контура, что соответствует предоставлению замкнутого контура в виде колебательного звена второго порядка с коэффициентом демпфирования $\epsilon=1/\sqrt{2}$. При расчете стандартной настройки контура тока привода, как правило, пренебрегают влиянием медленно меняющейся противо-эдс e на динамические процессы в контуре тока.

Если считать, что наименьшей некомпенсируемой постоянной времени является постоянная времени t силового преобразователя, то при использовании (10) для контура тока следует принять $T_m=t$, а для контура скорости - $T_m=2t$.

С учетом сказанного нетрудно сделать вывод, что в контурах тока и скорости регуляторы должны иметь пропорционально-интегральный закон регулирования. При этом передаточная функция регулятора тока определится как

(11)

а регулятора скорости

(12)

Порядок выполнения работы

1. Исследовать двухмассовую механическую систему (МС), схема которой представлена моделью `ems 21.mdl`.

1.1. Ввести исходные данные модели, содержащиеся в файле `EMS_2.m`, выбирая мышью последовательно `File, Load workspace, EMS_2, Open` (или `File, EMS_2.m, Tools, Run`). Войти в пакет `Library: Simulink` и открыть файл `ems 21.mdl` (рис.6).

В открывшемся окне имеются две схемы модели МС: верхняя с параметрами, заданными в файле `EMS_2.m`, и нижняя, повторяющая верхнюю, но параметры её блоков заданы их непосредственно числовыми значениями, варьируемыми при необходимости в процессе выполнения работы.

1.2. Установить время счёта модели $2c$ и амплитуду источника синусоидального сигнала равной нулю. Снять переходные характеристики $W_1(t)$ и $W_2(t)$ при подаче на вход $M(t)=1(t)$ и $M_c(t)=1(t)$, используя индикатор `Scop` верхней схемы. Определить частоты колебаний W

1
(t) и W

2

(t) и сравнить с теоретическими значениями.

Повторить счёт для случая $M(t)=1(t)$, $M_c(t)=0$. Объяснить поведение переходных характеристик в сравнении с предыдущим вариантом.

1.3. Задать числовые значения параметров нижней модели: $J_1=0.01$; $J_2=0.0025$; $C_{12}=150$; $b_{12}=b_1=b_2=0$.

Снять переходные характеристики $W_1(t)$ и $W_2(t)$ при $M(t)=1(t)$, $M_c=0$. Просмотреть более подробно поведение графиков в окне размером ориентировочно (0.1x5). Дать объяснения поведению графиков. Изменилась ли амплитуда и частота колебаний? Снять те же характеристики, положив M

с

(t)=1(t). Определить соотношение амплитуд колебаний W

1

(t) и W

2

(t).

1.4. Задать коэффициент жесткости $C_{12}=1500$ и посмотреть, как изменились амплитуды и частоты колебаний $W_1(t)$ и $W_2(t)$.

1.5. Задать $J_1=0.0025$, $J_2=0.01$ и повторить п.4. Как изменилось соотношение амплитуд колебаний $W_1(t)$ и $W_2(t)$ в сравнении с п.4 ?

1.6. Для исходных данных модели рассчитать резонансные частоты ω_0 , ω_{01} , ω_{02} .

Используя источник синусоидального сигнала, снять амплитудно-частотные характеристики МС $Y_{11}(w)$ и $Y_{21}(w)$ в области частот, включающей резонансные частоты МС. При этом амплитуды источников ступенчатых сигналов положить равными нулю.

2. Исследовать модель привода с двухмассовой МС.

Модель привода представлена в файле `ems22.mdl`. Исходные параметры модели также заданы в файле `EMS_2.mat`.

2.1. Открыть файл `ems22.mdl` (рис.7). В открывшемся окне представлены две модели привода. Верхняя модель соответствует приводу с абсолютно жесткой механической системой, а нижняя модель учитывает наличие упругого вала между первой и второй массами МС. Исполнить файл исходных данных, выбирая мышью последовательно в каждом окне Matlab: File, `EMS_2.mat`, Tools, Run. Исходные данные будут загружены в рабочую область Matlab. Выписать на листок исходные данные из файла `EMS_2.mat`. Проверить соответствие модели привода его структурной схеме, представленной на рис.5, а также соответствие передаточных функций регуляторов тока и скорости их настройке на технический оптимум в предположении, что МС – абсолютно жесткая.

2.2. Задать время счета модели 3с , $u_3(t)=1(t)$, $M_c(t)=0$. Снять переходные характеристики $W(t)=W_{1(t)}=W_{2(t)}$ верхней модели и $W_{1(t)}$, $W_{2(t)}$ нижней модели. Объяснить характер различий переходных процессов моделей.

2.3. Повторить п.2.2. для $u_3(t)=0$, $M_c(t)=1(t)$.

2.4. Повторить п.2.2, положив для нижней модели $C_{12}=10^6$.

2.5. Для нижней модели, задавая последовательно значения коэффициента соотношения масс $g=1; 2; 4; 8; 16$ при $J_1+J_2=0,0125=\text{const}$, проследить изменение характера переходных процессов $W_{1(t)}$ и $W_{2(t)}$ привода. Сделать вывод о влиянии g на колебательность переходных процессов

привода.

2.6. Снять переходные характеристики $W_1(t)$ и $W_2(t)$, задав $b_1=b_2=b_{12}=0$; $J_1=0,0124$; $J_2=0,0001$; $C_{12}=15$.

2.7. Ввести корректирующую обратную связь по упругому моменту. Оценить на модели влияние корректирующей обратной связи по M_{12} на колебательность переходных процессов $W_1(t)$ и $W_2(t)$, задавая значение коэффициента обратной связи по упругому моменту $k=1; 5; 10; 15; 20$. Отдельно просмотреть случай, когда обратная связь отрицательная, и случай положительной обратной связи. Попытайтесь объяснить полученные результаты.

Исходные данные модели

$K_{DT}=0.06$; $K_{DC}=0.05$; $R=0.1$; $L=0.0003$; $C=0.35$; $J_1=0.01$; $J_2=0.0025$; $b_1=0.01$; $b_2=0.01$; $b_{12}=0.008$; $C_{12}=150$; $K_Y=7$; $T=0.003$; $T_1=(J_1+J_2)/(b_1+b_2)$; $K_C=K_{DT}*(J_1+J_2)/(4*T*C*K_{DC})$.

Отчет о проделанной работе должен содержать схемы исследуемых моделей, полученные графики и выводы по ним.