**Вариант - 30.**

Исходные данные:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | T1 | T2 | T3 | K1 | K3 |
| 30 | 0,6 | 1,6 | 0,9 | 2,0 | 3,9 |

Структурная схема линейной САУ имеет вид:



1. Найдем передаточные функции разомкнутой и замкнутой систем:

1.1 Определим передаточную функцию разомкнутой системы при f=0 и e=v:

1.2 Определим главную передаточную функцию замкнутой системы при f=0:

Выражение для сигнала рассогласования имеет вид:

Исключим из этих двух выражений Ev(s):

1.3 Определим главную передаточную функцию замкнутой системы по ошибке при f=0:

Исключим из этих двух выражений Y(s):

1.4 Определим передаточную функцию замкнутой системы по возмущению при v=0:

Исключим из этих двух выражений Ef(s):

2. Определим необходимое значение K2, удовлетворяющее критерию устойчивости:

2.1 Найдем характеристическое уравнение замкнутой системы:

Приравняем левую часть уравнения к нулю и найдем характеристическое уравнение замкнутой системы:

Матрица Гурвица имеет вид:

Так как матрица Гурвица является матрицей 3-го порядка, то выражения для определителей имеют вид:

2.2 В общем виде критерий устойчивости Гурвица имеет вид - система устойчива, если при a3>0:

2.3 Найдем максимальное граничное значение коэффициента усиления K2, при котором система еще устойчива:

Решая уравнение D2=0 найдем K2крит:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0061_257047761.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0064_257047777.JPG

С учетом коэффициента запаса устойчивости системы а=2 найдем K2:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0065_257047777.JPG

3 Найдем аналитические выражения и постоим графики:

3.1 W(jω) амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0067_257047777.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0068_257047792.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0069_257047792.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0070_257047808.JPG

домножим числитель и знаменатель на комплексно-сопряженное знаменателю значение:

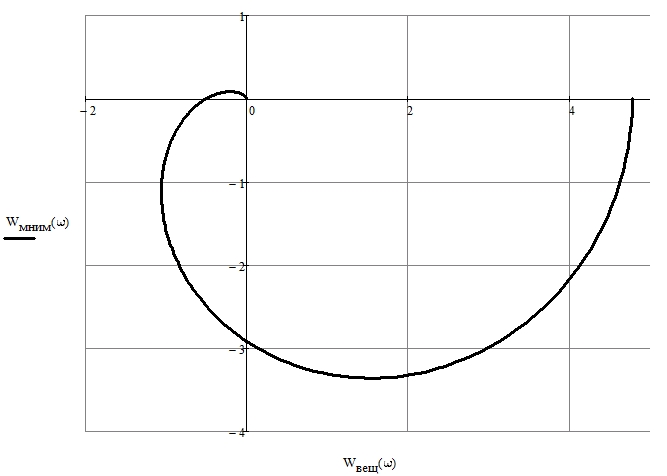
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0071_257047808.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0072_257047823.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0073_257047823.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0074_257047839.JPG

Построим график амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы на интервале от 0 до +∞ рад/с, по вертикальной оси будем откладывать мнимую, а по горизонтальной оси - вещественную часть АФЧХ:



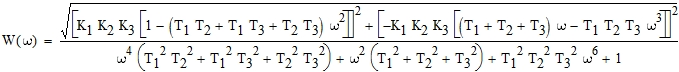
ω=0

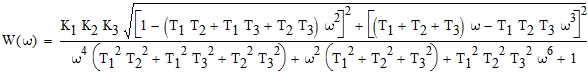
ω=∞

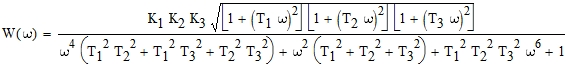
Как видно из графика амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) разомкнутой системы система соответствует критерию Найквиста, график не охватывает точку [-1; 0j]

3.2 |W(ω)| амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) разомкнутой системы:

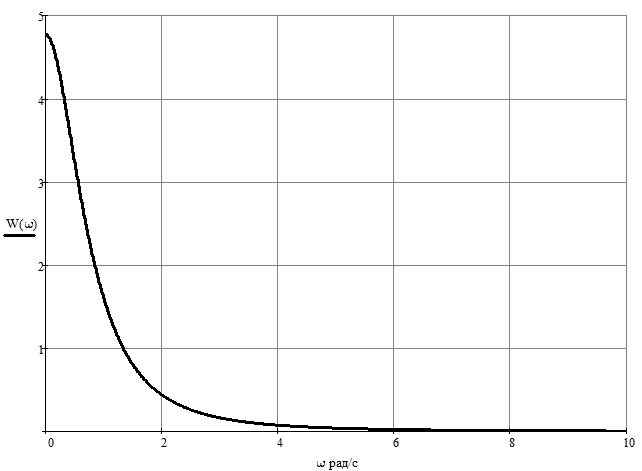
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0077_257047855.JPG







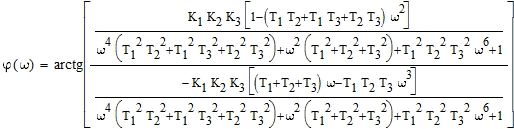
Построим график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) разомкнутой системы на интервале 0-10 рад/с (из соображений наглядности графика), по вертикальной оси будем откладывать амплитуду, а по горизонтальной оси - частоту:



Как видно из графика амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) разомкнутой системы коэффициент усиления максимален при ω=0 и монотонно спадает при увеличении частоты до бесконечности.

3.3 φ(ω) фазо-частотной характеристики (ФЧХ) разомкнутой системы:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0083_257047901.JPG

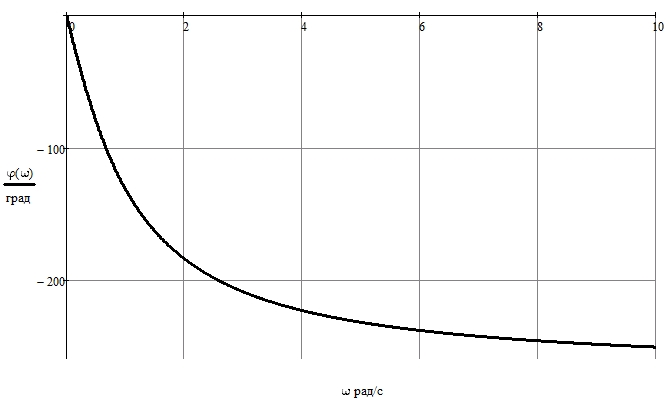


D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0085_257047917.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0086_257047917.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0087_257047933.JPG

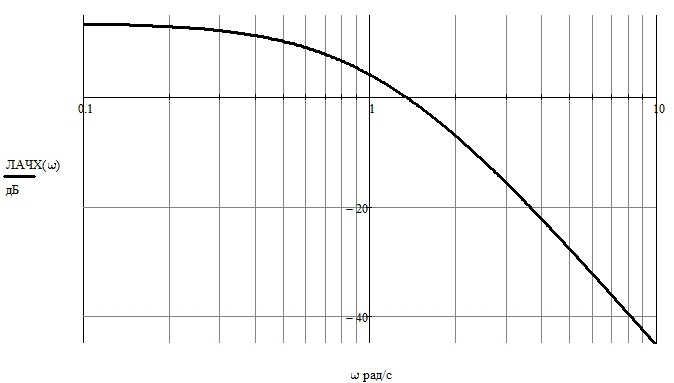
Построим график фазо-частотной характеристики (ФЧХ) разомкнутой системы на интервале 0-10 рад/с (из соображений наглядности графика), по вертикальной оси будем откладывать фазу в градусах, а по горизонтальной оси - частоту:



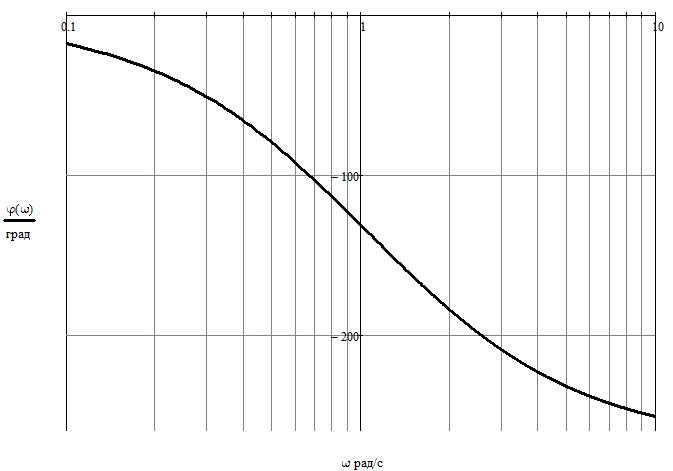
Как видно из графика фазо-частотной характеристики (ФЧХ) разомкнутой системы коэффициент фаза монотонно спадает при увеличении частоты.

3.4 Построим в логарифмическом масштабе график амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) разомкнутой системы на интервале 0.1-10 рад/с (из соображений наглядности графика), по вертикальной оси будем откладывать амплитуду, а по горизонтальной оси - частоту:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0091_257047948.JPG



3.5 Построим в логарифмическом масштабе график фазо-частотной характеристики (ЛФЧХ) разомкнутой системы на интервале 0.1-10 рад/с (из соображений наглядности графика), по вертикальной оси будем откладывать фазу в градусах, а по горизонтальной оси - частоту:



3.6 P(ω) вещественной частотной характеристики замкнутой системы:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0096_257047964.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0097_257047979.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0098_257047979.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0099_257047995.JPG

домножим числитель и знаменатель на комплексно-сопряженное знаменателю значение:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0100_257047995.JPG

упростим выражение для знаменателя:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0101_257048026.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0102_257048026.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0103_257048042.JPG

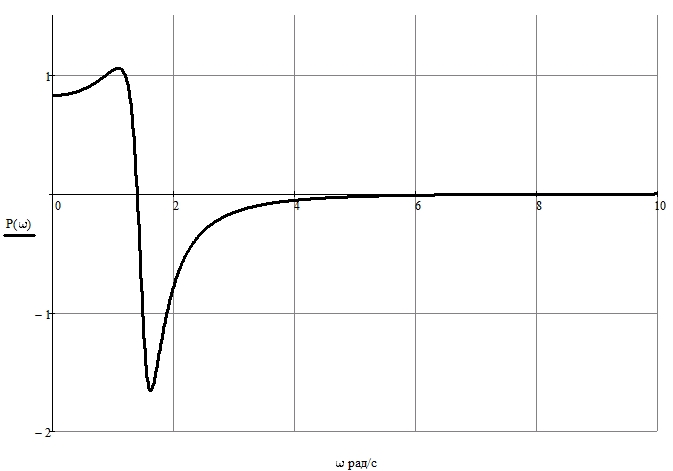
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0104_257048042.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0105_257048042.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0106_257048057.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0107_257048057.JPG

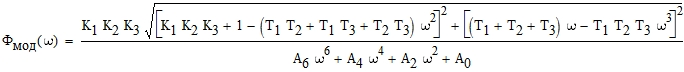
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0108_257048073.JPG



Как видно из графика вещественной частотной характеристики замкнутой системы она имеет трапециевидный вид с достаточно большим выбросом, что приведет к наличию затухающих колебаний на графике переходной характеристики.

3.7 |Ф(ω)| амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) замкнутой системы:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0111_257048089.JPG



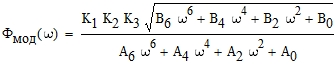
упростим выражение для числителя:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0113_257048104.JPG

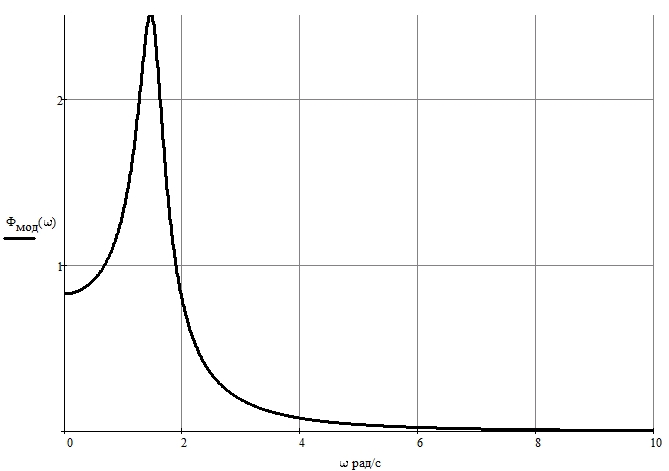
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0114_257048104.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0115_257048104.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0116_257048120.JPG



Построим график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) замкнутой системы на интервале 0-10 рад/с (из соображений наглядности графика), по вертикальной оси будем откладывать амплитуду, а по горизонтальной оси - частоту:



Как видно из графика амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) замкнутой системы она имеет достаточно большую колебательность (М>2), что приведет к наличию затухающих колебаний на графике переходной характеристики.

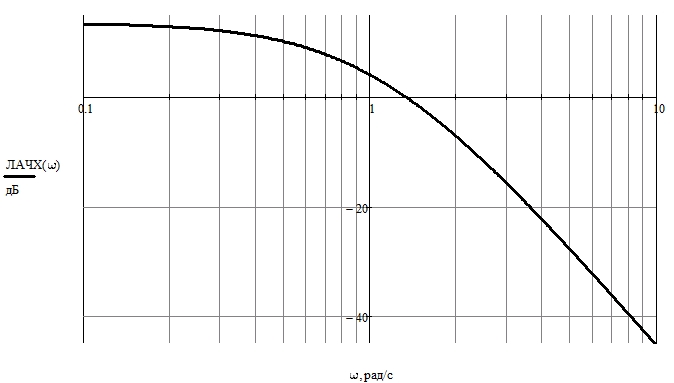
4. Используя полученные характеристики и построенные графики, найдем и оценим следующие показатели качества системы:

4.1 ест - статическую ошибку при подаче на вход единичного ступенчатого воздействия:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0120_257048135.JPG

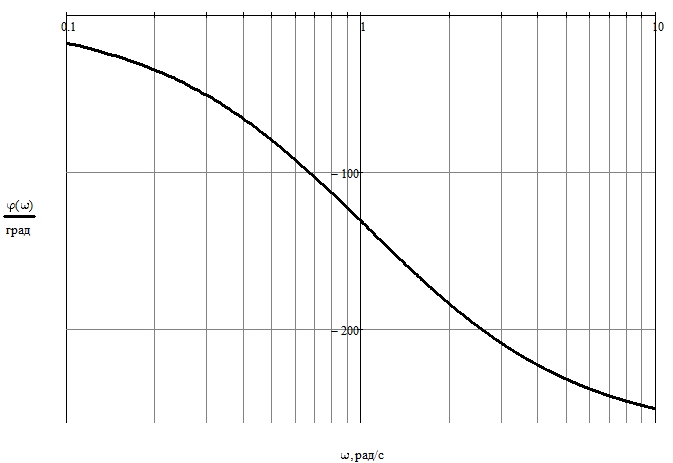
4.2 ωс - частоту среза системы, запасы устойчивости системы по амплитуде Lзап и фазе φзап:

частота среза системы определяется по графику ЛАЧХ как частота, на которой коэффициент усиления равен 0 дБ (корень уравнения L(ω)=0):



D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0124_257048151.JPG

запас устойчивости системы по фазе φзап показывает, на какое значение ФЧХ разомкнутой системы на частоте среза отличается от π (180 град):



D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0127_257048167.JPG

критическая частота определяется из графика ФЧХ как частота, на которой фаза разомкнутой системы равна π (180 град):

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0129_257048182.JPG

запас устойчивости системы по амплитуде (усилению) Lзап показывает, во сколько раз нужно увеличить коэффициент усиления, чтобы система оказалась на границе устойчивости

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0130_257048182.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0131_257048182.JPG

Так как в самом начале расчета запас устойчивости системы а был принят равным 2, то запас по амплитуде (усилению) Lзап, приблизительно равный 6дБ (или 2 раза) подтверждает правильность проведенного расчета.

4.3 М - показатель колебательности системы:

показатель колебательности системы определяется как максимальное значение АЧХ замкнутой системы (обычно стремятся, чтобы показатель колебательности не превышал двух)

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0132_257048198.JPG

Так как замкнутая система имеет достаточно большую колебательность (М>2), то на графике переходной характеристики будут затухающие колебания и система будет обладать достаточно большим перерегулированием.

4.4 tр - время регулирования и перерегулирование σ:

определим переходную характеристику системы как обратное преобразование Лапласа от:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0133_257048198.JPG

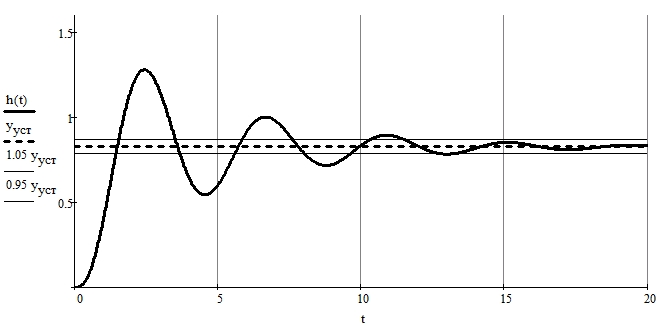
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0134_257048213.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0136_257048213.JPG

определим установившееся значение на выходе системы ууст при воздействии на нее ступенчатой функции:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0137_257048213.JPG

построим график переходного процесса:



длительность переходного процесса определим как время, с момента подачи сигнала до момента времени, когда выходной сигнал не будет отличаться от его установившегося значения не более чем на 5%:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0141_257048229.JPG

Определим по графику переходного процесса максимальное значение выходного сигнала:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0143_257048245.JPG

Определим перерегулирование:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0144_257048245.JPG

5. Найдем дифференциальное уравнение замкнутой системы, связывающее координаты y и v (полагая f=0):

Воспользуемся передаточной функцией замкнутой системы, для этого представим ее в виде полинома, где символ s эквивалентен операции дифференцирования:

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0145_257048260.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0146_257048260.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0147_257048276.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0148_257048291.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0149_257048291.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0150_257048291.JPG

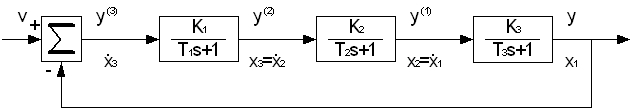
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0151_257048307.JPG

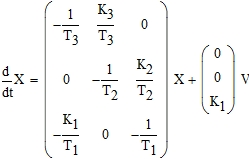
D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0152_257048307.JPG

D:\XALTURA\ТАУ\БГУИР\6 пунктов\Вариант 30_images\IMG0153_257048307.JPG

6. Найдем уравнение состояния замкнутой системы в векторно-матричном виде, в нормальной форме, связывающее координаты y и v (полагая f=0).

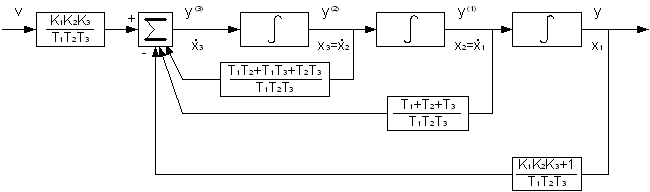
6.1 Найдем уравнение состояния замкнутой системы в векторно-матричном виде, связывающее координаты y и v (полагая f=0):

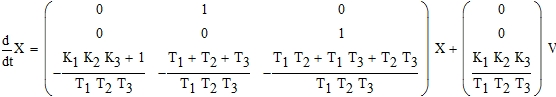






6.2 Найдем уравнение состояния замкнутой системы в нормальной форме, связывающее координаты y и v (полагая f=0):







Вывод: так как замкнутая система имеет достаточно небольшое время регулирования (tp<1.5с) и большое перерегулирование (σ>20%), то можно сказать, что система не оптимальна и требует коррекции. Коррекцию системы проще всего произвести введением дополнительных корректирующих цепей, обеспечивающих требуемые характеристики системы.

Литература

1. Теория автоматического управления. Конспект лекций: В 2ч. Ч.1:

Линейные непрерывные системы : учеб.-метод. Пособие / В.П. Кузнецов, С.В. Лукьянец, М.А. Крупская.-Мн.: БГУИР, 2007. - 132с.

2. Теория автоматического управления. Конспект лекций: В 2ч. Ч.2:

Дискретные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учеб.-метод. Пособие / В.П. Кузнецов, С.В. Лукьянец, М.А. Крупская.-Мн.: БГУИР, 2007. - 160с.

3. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика. - Москва: Высшая школа,1990.-334с.

4. Электронный учебно-методический комплекс: Теория автоматического управления. Ч.1: Линейные непрерывные системы./ В.П. Кузнецов, С.В. Лукьянец, М.А. Крупская - Мн.: БГУИР, 2006.

5. Электронный учебно-методический комплекс: Теория автоматического управления. Ч.2:Дискретные,нелинейные, оптимальные и адаптивные системы /С.В. Лукьянец, А.Т. Доманов, В.П. Кузнецов., М.А. Крупская - Мн.: БГУИР, 2007.