

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

Укладач

О. І. Шеремет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни

«Аналіз та синтез оптимальних систем ЕП»

для студентів спеціальності 7.092203 всіх форм навчання

Затверджено
Декан ФАМІТ
_____ С.В. Подлесний

Затверджено
на засіданні
методичного семінару кафедри ЕСА
Протокол № 1 від 21 серпня 2012 р.

Краматорськ 2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни

«Аналіз та синтез оптимальних систем ЕП»

для студентів спеціальності 7.092203 всіх форм навчання

Краматорськ 2012

Содержание

Распределение учебного времени.....	4
Лабораторная работа №1.....	5
Лабораторная работа №2.....	10

РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ

Триместр	Всього	Розподіл аудиторної роботи за триместрами та видами занять							СРС		Триместрова атестація
		Лекц.	Практичн.	Семін.	Лаб. роб	Комп'ют. практики	Контр. роб.	Всього	У тому числі на викон. ІСЗ		
9	108	18			18		4	68	30	залік	
Загальний обсяг 108 годин											

Лабораторная работа №1

Моделирование САУ в канонических формах пространства состояний

Цель работы: промоделировать САУ в пространстве состояний, пользуясь каноническими формами управляемости и наблюдаемости, а также диагональной формой Жордана.

Форма занятий – создание программного продукта в среде MATLAB, реализующего заданные функциональные возможности системы управления, защита работы.

Последовательность занятия

1. Изучение теоретических основ и краткий опрос по теории изучаемого курса (20 мин).
2. Формализация поставленной задачи и перевод ее на язык внутреннего программирования системы MATLAB (40 мин).
3. Создание необходимого программного кода и его тестирование на работоспособность (50 мин).
4. Построение требуемых переходных функций САУ и их анализ (30 мин).
5. Формирование выводом по работе и ее защита (30 мин).

Перечень знаний, навыков, формируемых в процесс выполнения работы

Система с передаточной функцией вида (1) может быть реализована в виде формы Фробениуса или канонической формы наблюдаемости (рис. 1,2)

$$W(s) = \frac{\beta_m s^m + \beta_{m-1} s^{m-1} + \dots + \beta_1 s + \beta_0}{s^n + \alpha_{n-1} s^{n-1} + \dots + \alpha_1 s + \alpha_0} \quad (1)$$

Система с передаточной функцией вида (2), разложенной на рациональные дроби, может быть представлена в диагональной форме Жордана.

$$W(s) = \frac{r_1}{s - s_1} + \frac{r_2}{s - s_2} + \dots + \frac{r_n}{s - s_n} \quad (2)$$

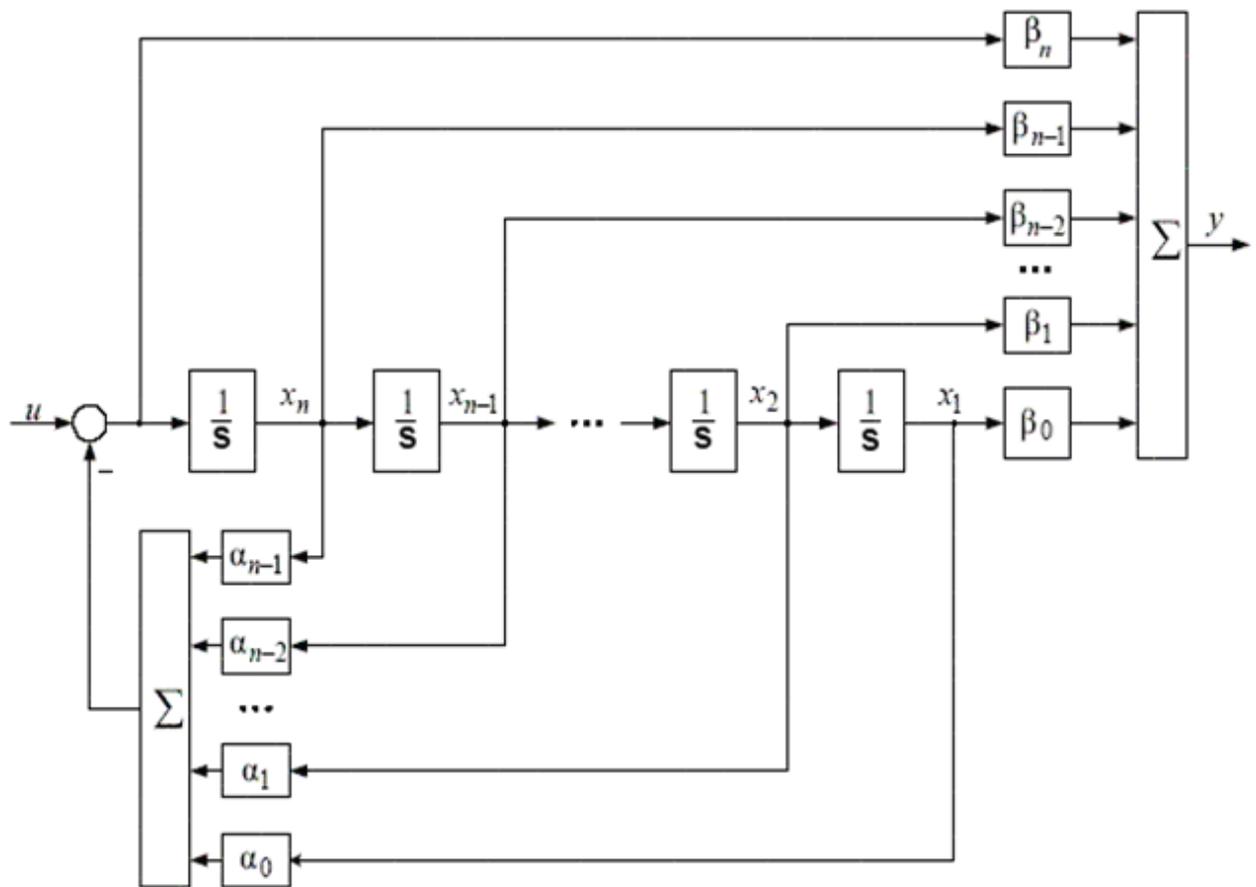


Рисунок 1 – Структурная схема САУ в канонической форме управляемости (форме Фробениуса) при $m = n$.

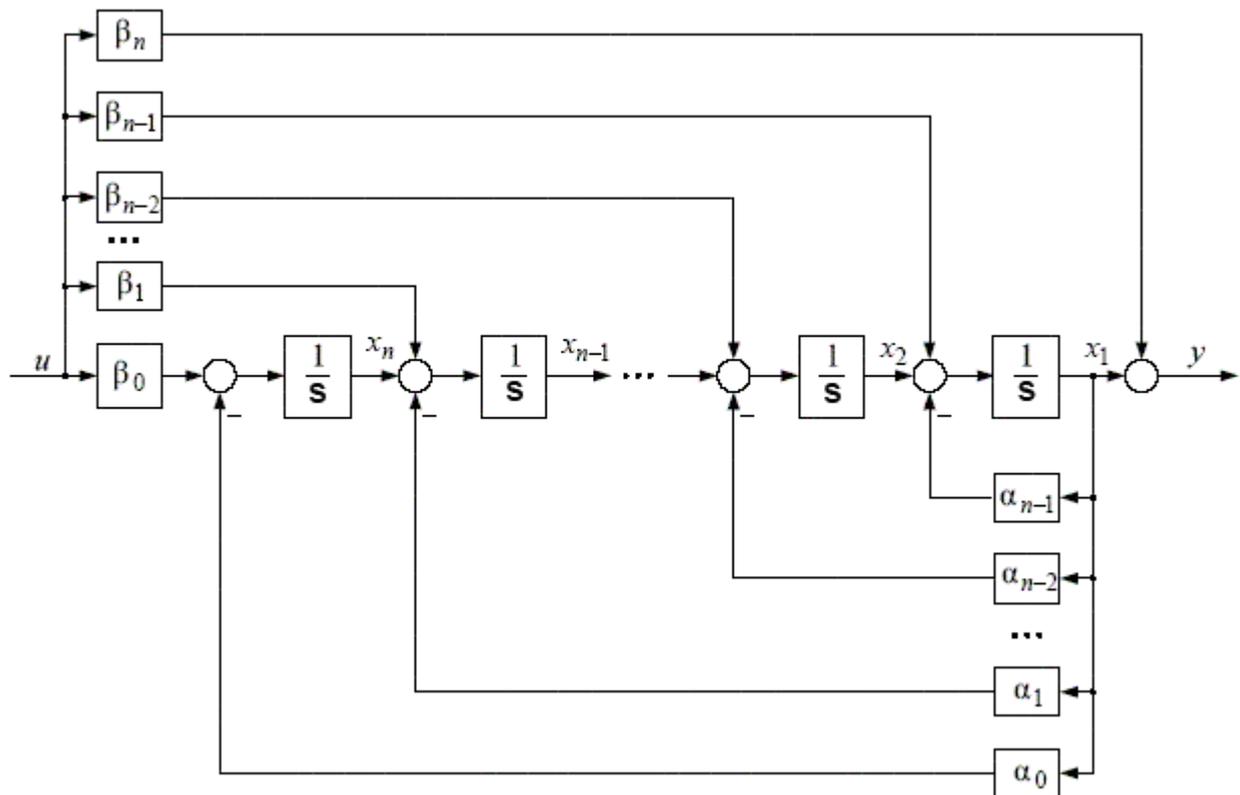


Рисунок 2 – Структурная схема САУ в канонической форме наблюдаемости при $m = n$.

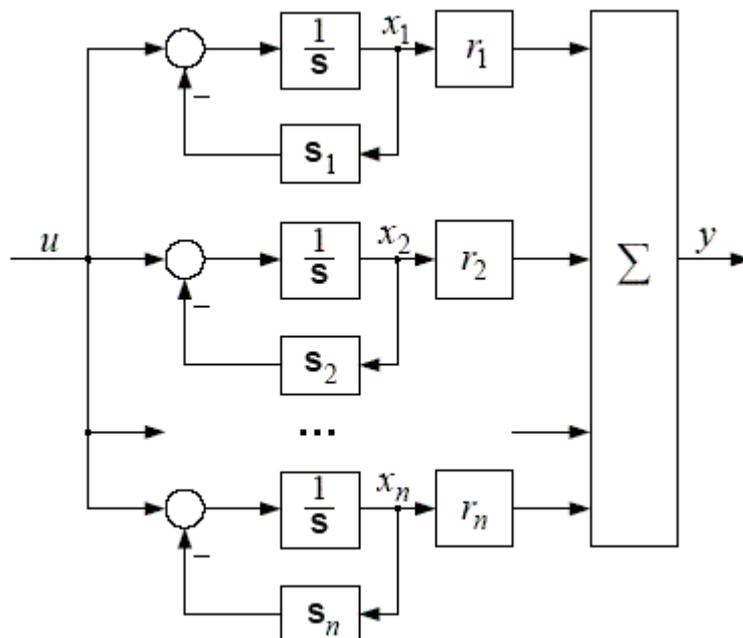


Рисунок 3 – Структурная схема САУ в диагональной форме Жордана.

Перечень контрольных вопросов

1. Понятие аналоговой и цифровой системы управления.
2. Различие между понятиями «цифровая» и «импульсная» система автоматического управления.
3. Суть понятия «квантование», виды квантования.
4. Основные параметры последовательности импульсов, варьируемые при цифровом управлении.
5. Суть амплитудно-импульсной модуляции первого и второго рода.
6. Широтно-импульсная и фазоимпульсная модуляции: общие сведения.
7. Импульсный элемент, основные параметры характеризующие его.
8. Передаточная функция экстраполятора. Его назначение. Понятие экстраполятора нулевого порядка.
9. Понятие δ - импульса.
10. Назначение формирователя, передаточная функция простейшего формирователя, ее вывод.

Задание на самостоятельную работу:

1. Представить систему с передаточной функцией $W(p)$ из таблицы 1 в виде канонической формы управляемости и наблюдаемости в пространстве состояний (рис. 1,2).
2. Преобразовать заданную передаточную функцию $W(p)$ к виду (2). Построить каноническую форму Жордана. При этом можно воспользоваться функциями `polyroots` и `parfrac` из программной среды Mathcad.
3. По полученным структурным схемам составить матричные системы уравнений состояний и определить матрицы A, B, C, D .
4. Выполнить моделирование структурных схем в матричной лаборатории MATLAB Simulink. Оценить показатели качества системы по переходному процессу при реакции системы на единичное ступенчатое воздействие.
5. Сделать выводы о возможностях представления САУ в виде различных форм в пространстве состояний.

Таблица 1 – Передаточные функции САУ.

Вариант	$W(p)$	Вариант	$W(p)$
01	$\frac{31,2s^2 + 86,3s + 58,1}{2s^3 + 9s^2 + 13s + 6}$	14	$\frac{19s^2 + 100s + 126}{2s^3 + 17s^2 + 46s + 40}$
02	$\frac{272s^2 + 2644,2s + 1594,1}{20s^3 + 264s^2 + 589s + 231}$	15	$\frac{132s^2 + 1040s + 1903}{8s^3 + 92s^2 + 302s + 273}$
03	$\frac{360s^2 + 643s + 263,7}{100s^3 + 240s^2 + 179s + 42}$	16	$\frac{420s^2 + 5672s + 14435}{40s^3 + 652s^2 + 2294s + 989}$

04	$\frac{412s^2 + 2438,2s + 2826,7}{20s^3 + 164s^2 + 347s + 63}$	17	$\frac{220s^2 + 868s + 541}{20s^3 + 156s^2 + 303s + 115}$
05	$\frac{104,8s^2 + 705,6s + 837}{8s^3 + 108s^2 + 414s + 405}$	18	$\frac{300s^2 + 2705s + 1132}{50s^3 + 555s^2 + 469s + 102}$
06	$\frac{104,8s^2 + 1758,6s + 7251,6}{8s^3 + 162s^2 + 943s + 1197}$	19	$\frac{3880s^2 + 7382s + 3171}{400s^3 + 1100s^2 + 876s + 189}$
07	$\frac{2320s^2 + 5864s + 1045}{160s^3 + 896s^2 + 1138s + 105}$	20	$\frac{550s^2 + 2503s + 1738}{200s^3 + 1530s^2 + 2461s + 924}$
08	$\frac{2320s^2 + 5864s + 1045}{160s^3 + 896s^2 + 1138s + 105}$	21	$\frac{64s^2 + 604s + 1410}{8s^3 + 108s^2 + 478s + 693}$
09	$\frac{15,5s^2 + 91s + 115,5}{s^3 + 8s^2 + 17s + 10}$	22	$\frac{58s^2 + 384s + 495,5}{4s^3 + 40s^2 + 103s + 78}$
10	$\frac{15,15s^2 + 120s + 183,65}{s^3 + 12s^2 + 41s + 42}$	23	$\frac{14,5s^2 + 1342,5s + 21125}{s^3 + 140s^2 + 4375s + 37500}$
11	$\frac{1893,75s^2 + 8436s + 9193,05}{125s^3 + 690s^2 + 981s + 108}$	24	$\frac{11s^2 + 1030s + 20250}{s^3 + 155s^2 + 7250s + 100000}$
12	$\frac{182,5s^2 + 821,45s + 726,55}{10s^3 + 59s^2 + 100s + 51}$	25	$\frac{6s^2 + 137s + 765}{s^3 + 34s^2 + 375s + 1350}$
13	$\frac{2250s^2 + 3100s + 780}{125s^3 + 225s^2 + 100s + 12}$	26	$\frac{12s^2 + 127s + 312}{2s^3 + 29s^2 + 123s + 126}$

Перечень рекомендуемых источников

1. Э Джури. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Физматгиз, 1963. – 456 с.
2. Я.З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 968 с.
3. В.А. Бесекерский. Цифровые автоматические системы.-М.:Наука, 1976. –576 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с
5. Х. Квакернаак, Р. Сиван. Линейные оптимальные системы управления. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 638 с
6. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М. : Мир, 1984. – 541 с.
7. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 288 с.
8. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

Лабораторная работа №2 Синтез оптимальной САУ методом классического вариационного исчисления

Цель работы: определить оптимальный по энергопотреблению закон управления электродвигателем постоянного тока, работающим в вязкой среде.

Форма занятий – создание программного продукта в среде MATLAB, реализующего заданные функциональные возможности системы управления, защита работы.

Последовательность занятия

1. Изучение теоретических основ и краткий опрос по теории изучаемого курса (20 мин).
2. Формализация поставленной задачи и перевод ее на язык внутреннего программирования системы MATLAB (40 мин).
3. Создание необходимого программного кода и его тестирование на работоспособность (50 мин).
4. Построение требуемых переходных функций САУ и их анализ (30 мин).
5. Формирование выводом по работе и ее защита (30 мин).

Перечень знаний, навыков, формируемых в процесс выполнения работы

Электропривод с двигателем постоянного тока независимого возбуждения (рис. 1) нагружен моментом вязкого трения $M_H = k_1\omega$ и работает в режиме, при котором падение напряжения $u_1 = i(r_d + r_a)$ на сопротивлении $r = r_d + r_a$ значительно больше противо-ЭДС $e = c_e\omega$.

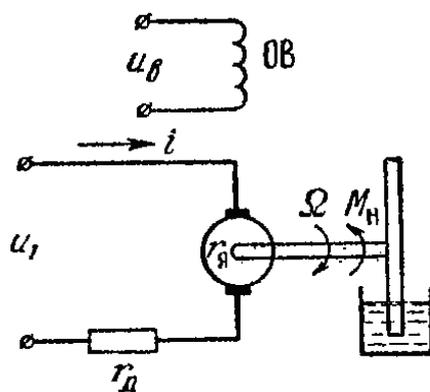


Рисунок 1 – Двигатель постоянного тока, работающий в вязкой среде.

Оптимальный по энергопотреблению закон управления электродвигателем должен минимизировать суммарную энергию потерь, затрачиваемую на преодоление момента вязкого трения и на нагрев. Влиянием индуктивности в цепи якоря при этом можно пренебречь.

Уравнение момента двигателя будет иметь вид $J \frac{d\omega}{dt} + k_1 \omega = c_M i$. При незначительной индуктивности якорной цепи $ir + c_e \omega = u_y$ или $i = \frac{u_y}{r} - \frac{c_e}{r} \omega$. Откуда следует $J \frac{d\omega}{dt} = \frac{u_y}{r} c_M - \left(\frac{c_e c_M}{r} + k_1 \right) \omega$. При вязком трении $\frac{c_e c_M}{r} \ll k_1$, поэтому можно считать $J \frac{d\omega}{dt} = \frac{u_y}{r} c_M - k_1 \omega$. Разрешив уравнение относительно первой производной по скорости, получим $\frac{d\omega}{dt} = b\omega + m u_y$, где $b = -\frac{k_1}{J}$; $m = \frac{c_M}{Jr}$.

При работе двигателя в режиме $c_e \omega \ll ir$ можно считать, что $i \approx \frac{u_y}{r}$. Мощность электрических потерь $P_3 = \frac{u_y^2}{r}$. Мощность потерь на вязкое трение $P_{в.т} = 9,81 \cdot 10^{-4} M_H \omega = 9,81 \cdot 10^{-4} k_1 \omega^2$.

Минимизируемый функционал, представляющий собой суммарную энергию потерь $I = \int_0^\infty \left(9,81 \cdot 10^{-4} k_1 \omega^2 + \frac{1}{r} u_y^2 \right) dt = \int_0^\infty \left(a_1 \omega^2 + a_0 u_y^2 \right) dt$, где $a_1 = 9,81 \cdot 10^{-4} k_1$, $a_0 = \frac{1}{r}$.

Для решения поставленной задачи необходимо составить функцию $H = V + \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i$, где $V = \sum_{k=1}^n a_k x_k^2 + a_0 u_y^2$; $z_i = \frac{dx_i}{dt} - (b_{i1} x_1 + \dots + b_{in} x_n + m_i u_y)$ — функция, представляющая уравнение первого порядка по i -й переменной; λ_i — произвольный множитель.

Дифференцируя функцию H , получаем

$$\begin{cases} \frac{dH}{dx_i} = \lambda_i, & \frac{dH}{dx_i} = 2a_i x_i - \sum_{j=1}^n \lambda_j b_{ji} \\ \frac{dH}{du} = 0, & \frac{dH}{du} = 2a_0 u_y - \sum_{j=1}^n m_j \lambda_j \end{cases}$$

Отсюда уравнения рассматриваемой вариационной задачи будут иметь вид (1):

$$\frac{d\lambda_j}{dt} = -\sum_{i=1}^n \lambda_i b_{ji} + 2a_i x_i; \quad 2a_0 u_y - \sum_{j=1}^n m_j \lambda_j = 0. \quad (1)$$

В рассматриваемом случае $z = \frac{d\omega}{dt} - (b\omega + m u_y) = 0$; $V = a_1 \omega^2 + a_0 u_y^2$.

Окончательно получим систему уравнений (2) для определения зависимости $u_y(\omega)$:

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_1}{dt} = -b\lambda_1 + 2a_1\omega \\ 2a_0u_y - m\lambda_1 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Решая эту систему относительно переменных λ_1 и Ω , после исключения функции времени из полученных решений и алгебраических преобразований, получим

$$u_y = -k\Omega,$$

$$k = \frac{b}{m} + \sqrt{\left(\frac{b}{m}\right)^2 + \frac{a_1}{a_0}}.$$

Перечень контрольных вопросов

1. Понятие аналоговой и цифровой системы управления.
2. Различие между понятиями «цифровая» и «импульсная» система автоматического управления.
3. Суть понятия «квантование», виды квантования.
4. Основные параметры последовательности импульсов, варьируемые при цифровом управлении.
5. Суть амплитудно-импульсной модуляции первого и второго рода.
6. Широтно-импульсная и фазоимпульсная модуляции: общие сведения.
7. Импульсный элемент, основные параметры характеризующие его.
8. Передаточная функция экстраполятора. Его назначение. Понятие экстраполятора нулевого порядка.
9. Понятие δ - импульса.
10. Назначение формирователя, передаточная функция простейшего формирователя, ее вывод.

Задание на самостоятельную работу:

1. Исходя из теоретических сведений о САУ, определить оптимальное управление по формулам (1) и (2).

Для варианта 27:

$$b = -\frac{k_1}{J} = \frac{0,91}{1,29} = 0,705; \quad m = \frac{c_M}{J_r} = \frac{0,4516}{1,29} = 0,35;$$

$$a_1 = 8,9271 \cdot 10^{-4}; \quad a_0 = 0,4608.$$

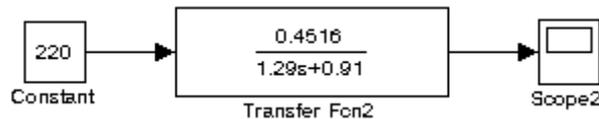
$$k = \frac{0,705}{0,35} + \sqrt{\left(\frac{0,705}{0,35}\right)^2 + \frac{8,9271 \cdot 10^{-4}}{0,4608}} = 4,029$$

2. Используя дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока, работающего в вязкой среде, составить структурную схему объекта САУ и промоделировать ее в MATLAB Simulink. В качестве входного воздействия выбрать ступенчатое с амплитудой 220 В.

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{u_y}{r} c_M - \left(\frac{c_e c_M}{r} + k_1 \right) \omega; \quad J\omega p + \left(\frac{c_e c_M}{r} + k_1 \right) \omega = \frac{u_y}{r} c_M;$$

$$W(p) = \frac{\omega}{u_y} = \frac{c_M/r}{Jp + k_1}.$$

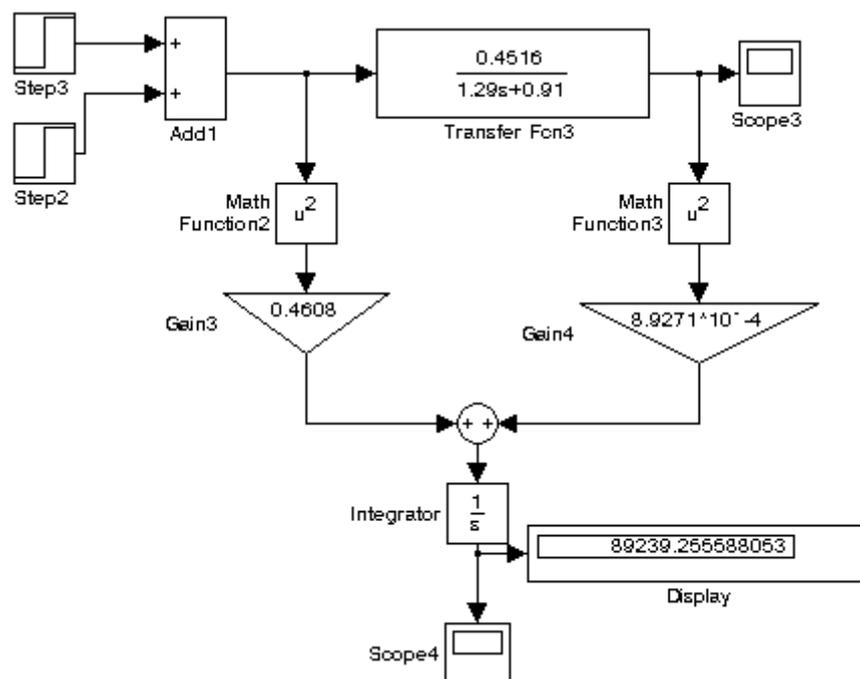
Для варианта 27: $c_M/r = 0,98/2,17 = 0,4516$; $J = 1,29$; $k_1 = 0,91$.

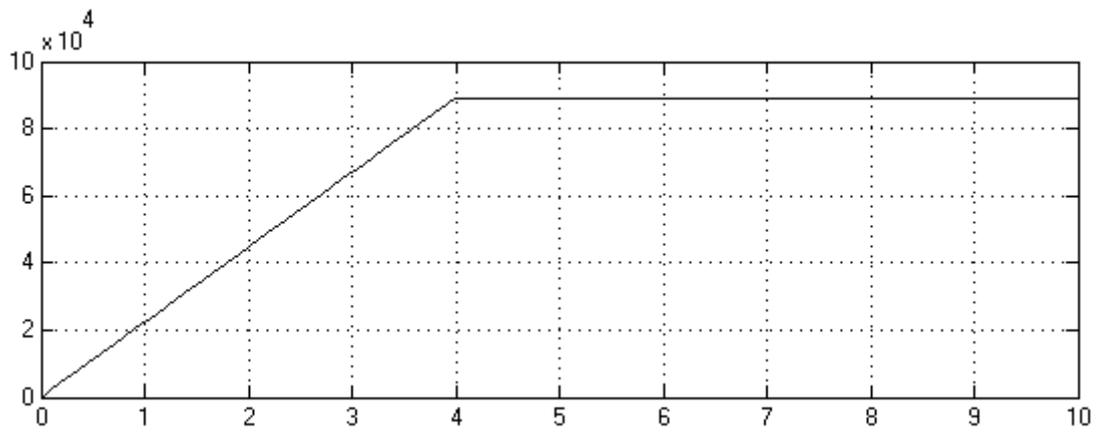


3. Добавить к структурной схеме блок, вычисляющий уровень энергетических потерь. Произвести разгон машины до номинальной скорости при ступенчатом воздействии с амплитудой 220 В, затем – по завершении переходного процесса – убрать входное воздействие и выполнить торможение со свободным выбегом. Добавить блок для оценки потерь энергии.

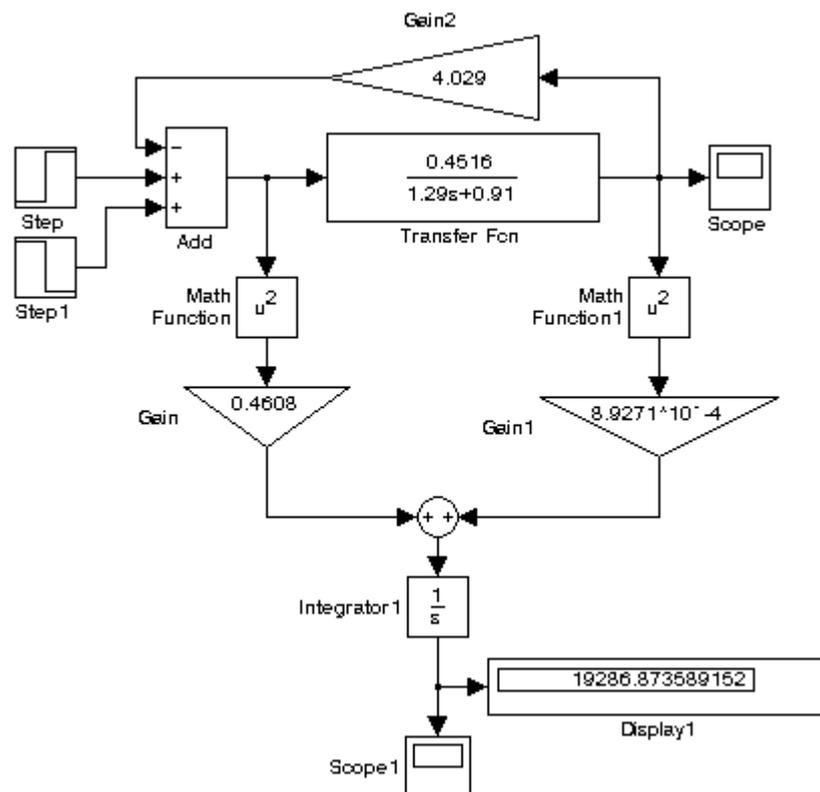
Для варианта 27:

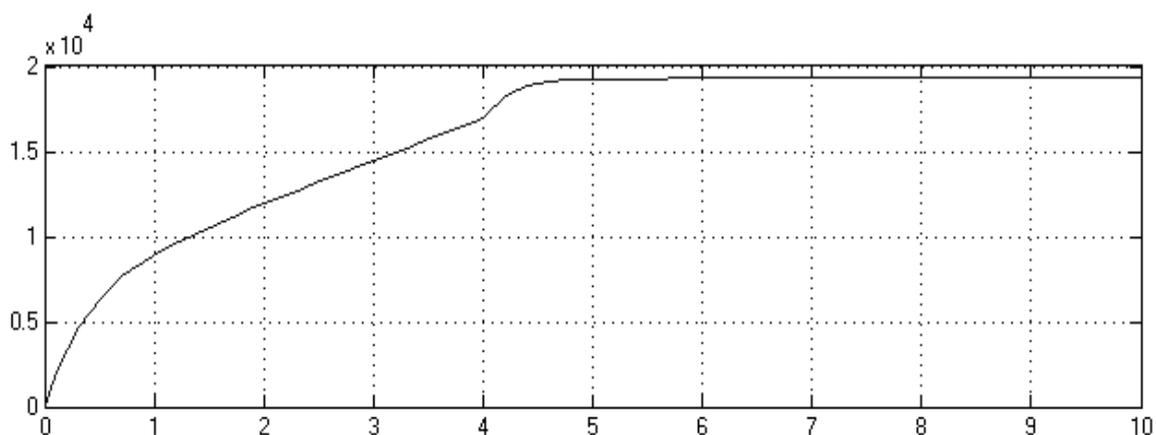
$$I = \int_0^{\infty} \left(9,81 \cdot 10^{-4} k_1 \omega^2 + \frac{1}{r} u_y^2 \right) dt = \int_0^{\infty} \left(8,9271 \cdot 10^{-4} \omega^2 + 0,4608 u_y^2 \right) dt$$





4. Выбрать в качестве управляющего входного воздействия во время торможения оптимальное, определенное в пункте 1. Оценить энергетические потери.





5. Произвести сравнение энергетических потерь из пунктов 3 и 4, сделать выводы.

Таблица значений

№	$J, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$c_e, \text{ В} \cdot \text{с}$	$c_m, \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А}}$	$k_1, \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$	$r, \text{ Ом}$
1	0,2	0,098	1,23	1,58	1,1
2	0,25	0,055	1,45	2,23	0,95
3	0,3	0,075	2,36	1,89	1,65
4	0,35	0,095	2,78	1,35	2,38
5	0,11	0,035	3,11	2,96	3,25
6	0,15	0,062	4,58	3,11	4,37
7	0,05	0,035	3,12	3,25	5,11
8	0,07	0,037	1,89	1,87	6,87
9	0,09	0,027	3,54	2,33	7,92
10	0,23	0,044	8,32	2,95	1,58
11	0,27	0,039	1,95	3,78	2,47
12	0,31	0,072	4,78	3,64	3,91
13	0,42	0,043	5,43	2,05	4,68
14	0,39	0,085	3,28	1,23	5,87
15	0,48	0,091	1,35	3,69	6,09
16	1,25	0,033	6,47	3,17	7,22
17	1,37	0,017	1,73	2,08	0,91
18	1,05	0,039	2,39	1,29	1,38
19	1,12	0,045	2,47	1,57	2,76
20	1,8	0,087	2,72	1,35	3,07
21	0,95	0,039	3,85	2,48	4,48
22	0,71	0,085	5,67	3,65	5,05
23	0,79	0,025	6,75	0,95	6,02
24	0,32	0,037	6,18	0,85	7,08
25	0,17	0,092	1,56	1,58	0,86
26	1,45	0,031	1,15	0,75	1,95

Перечень рекомендуемых источников

1. Э Джури. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Физматгиз, 1963. – 456 с.
2. Я.З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 968 с.
3. В.А. Бесекерский. Цифровые автоматические системы.-М.:Наука, 1976. – 576 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с
5. Х. Квакернаак, Р. Сиван. Линейные оптимальные системы управления. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 638 с