

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы. Изучение математических моделей и исследование характеристик электромеханического объекта управления, построенного на основе электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Методические рекомендации. До начала работы студенты должны получить от преподавателя вариант задания. К выполнению работы допускаются студенты, рассчитавшие параметры математических моделей ЭМО (см. п.1 порядка выполнения работы). Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

Теоретические сведения. Функциональная схема типичного электромеханического объекта (ЭМО) представлена на рис.10.1. Она включает усилительно-преобразовательное устройство (УПУ), электродвигатель (ЭД), редуктор (Р) и исполнительный механизм (ИМ). Усилительно-преобразовательное устройство служит для формирования напряжения, подаваемого на двигатель в соответствии с управляющим сигналом. Электродвигатель осуществляет преобразование электрической энергии в механическую. Редуктор снижает скорость вращения и повышает момент двигателя на валу ИМ. В качестве исполнительного механизма могут выступать механизмы станков, роботов, поточных линий, рулевые устройства летательных аппаратов, подвижные элементы автоматического оборудования и приборов. Для получения информации о состоянии объекта, используемой в устройстве управления, ЭМО может снабжаться различными измерительными устройствами: углового или линейного перемещения (измерители перемещения — ИП), угловой или линейной скорости (измерители скорости — ИС), измерителями тока якоря и напряжения усилителя мощности.

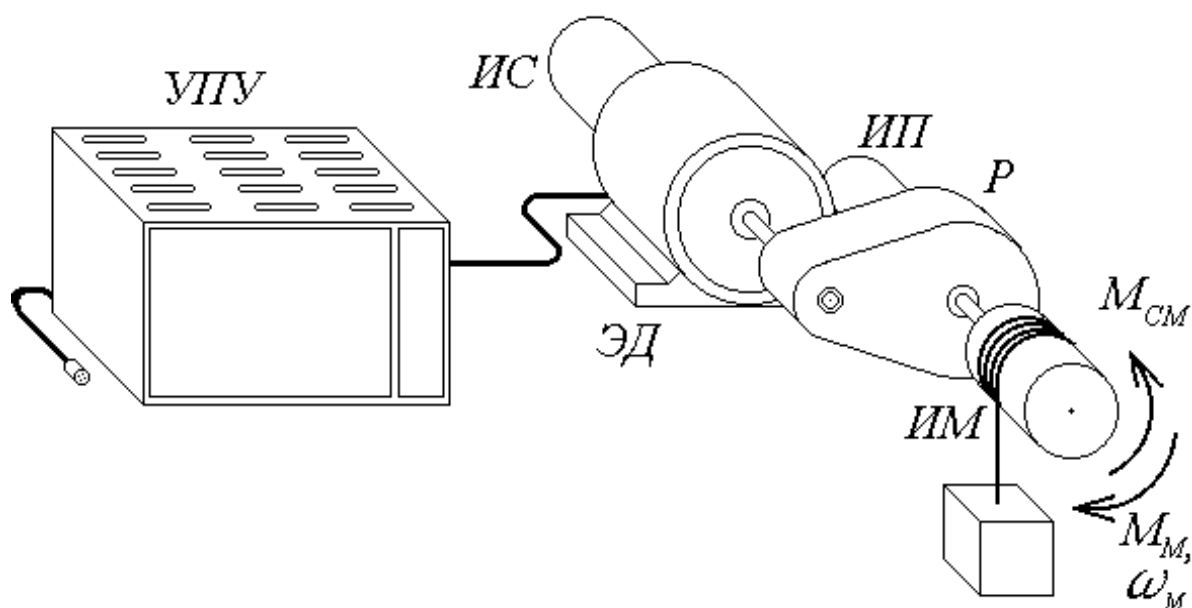


Рис.10.1 Функциональная схема ЭМО

В работе рассматривается электромеханический объект управления, выходным сигналом которого является угловое перемещение ИМ, а управляющим сигналом — входное напряжение УПУ. Измерение угловой скорости осуществляется на валу двигателя. Момент сопротивления M_{CM} , приложенный к валу ИМ, выступает в качестве возмущающего воздействия.

Модель ЭМО. В соответствии с законом Ома, для электрической цепи двигателя получаем следующее уравнение

$$U_y = E + IR + L \frac{dI}{dt}, \quad (10.1)$$

где U_y — напряжение, подаваемое на двигатель, $E = k_E \omega$ — противо-ЭДС, I — ток, якоря, R и L — сопротивление и индуктивность цепи якоря, k_E — коэффициент ЭДС (первая конструктивная постоянная), ω — угловая скорость ротора. Обозначив $T_J = L/R$, $K_D = 1/R$, уравнение (10.1) можно записать в виде

$$T_J \frac{dI}{dt} + I = K_D (U_y - k_E \omega). \quad (10.2)$$

Уравнение вращения якоря электродвигателя имеет вид

$$M_D - M_C = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}, \quad (10.3)$$

где $M_D = k_M I$ — вращающий момент двигателя, k_M — коэффициент момента (вторая конструктивная постоянная), J_Σ — момент инерции, приведенный к валу двигателя, M_C — момент сопротивления, приведенный к валу двигателя. Скорость вращения ω и угол поворота ротора α связаны соотношением

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega. \quad (10.4)$$

Редуктор обеспечивает усиление момента двигателя и соответствующее снижение скорости вращения нагрузки

$$M_M = i_p M_D, \quad \omega_M = \frac{\omega}{i_p}, \quad \alpha_M = \frac{\alpha}{i_p}, \quad (10.5)$$

где i_p — передаточное отношение редуктора, M_M — вращающий момент на выходном валу редуктора (т.е. момент, приложенный к исполнительному механизму), ω_M — угловая скорость вращения выходного вала редуктора, α_M — угол поворота исполнительного механизма (нагрузки). При этом справедливо и обратное преобразование от выходного вала к входному $M_C = M_{CM} / i_p$. При наличии редуктора момент инерции, приведенный к валу двигателя, определяется по формуле

$$J_\Sigma = J_D + J_P + \frac{J_M}{i_p^2}, \quad (10.6)$$

где J_D — момент инерции двигателя, J_P — приведенный момент инерции редуктора, J_M — момент инерции исполнительного механизма (нагрузки).

Усилительно-преобразовательное устройство с высокой степенью точности может быть представлено апериодическим звеном

$$T_y \frac{dU_y}{dt} + U_y = k_y U, \quad (10.7)$$

где U — входное напряжение УПУ, T_y и k_y — постоянная времени и коэффициент усиления УПУ, соответственно. Требуемый коэффициент усиления k_y определяется как отношение номинального напряжения двигателя U_H к максимальному напряжению U_m на входе усилительно-преобразовательного устройства $k_y = U_H / U_m$, (обычно $U_m = 10 \text{ В}$).

Измерительные устройства будем считать безынерционными. На выходе измерительных устройств формируются измеренные значения напряжения \hat{U}_y , тока \hat{I} , скорости $\hat{\omega}$ и угла поворота $\hat{\alpha}_M$

$$\hat{U}_y = K_U U_y, \quad \hat{I} = K_I I, \quad \hat{\omega} = K_\omega \omega, \quad \hat{\alpha}_M = K_\alpha \alpha_M. \quad (10.8)$$

Коэффициенты передачи измерительных устройств K_U , K_I , K_ω и K_α должны обеспечить соответствие максимального значения измеряемого сигнала уровню 10 В на выходе измерительного устройства.

Таким образом, математическая модель ЭМО полностью описывается уравнениями (10.1)-(10.8). Структурная схема ЭМО приведена на рис.10.2.

Упрощенная модель ЭМО. Часто электрические постоянные времени усилителя T_y и ЭД T_Δ значительно меньше, чем механическая постоянная времени T_M . В этом случае для упрощения математической модели пренебрегают малыми постоянными времени, заменяя апериодические звенья первого порядка с передаточными функциями

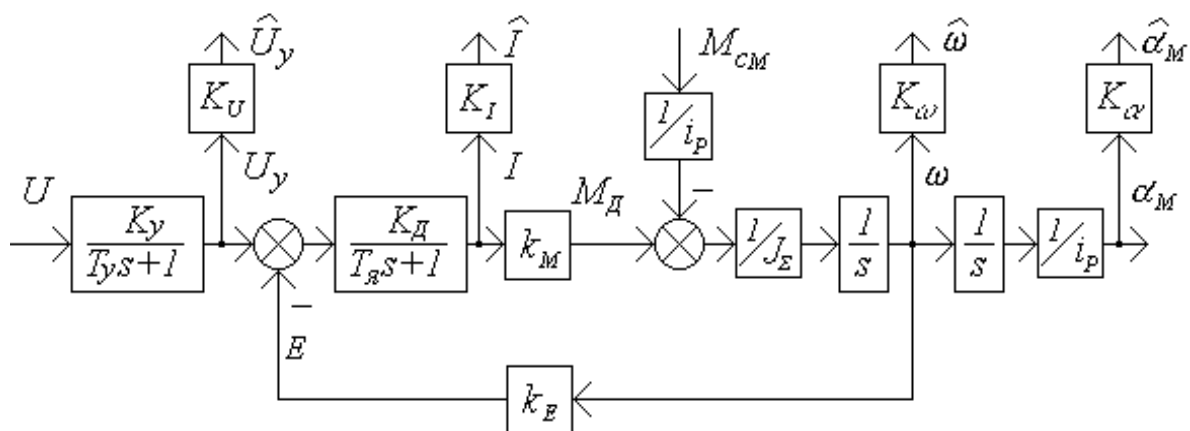


Рис.5.2 Структурная схема ЭМО

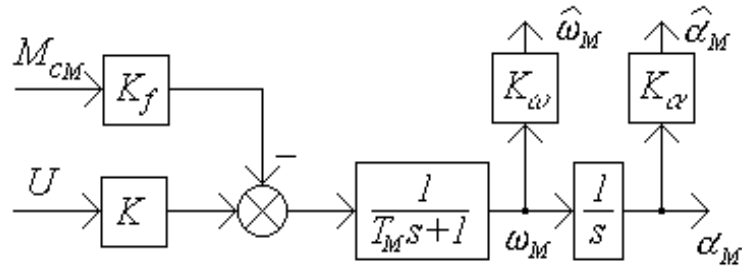


Рис. 5.3 Структурная схема упрощенной модели ЭМО.

$W_1(s) = \frac{K_D}{T_D s + 1}$ и $W_2(s) = \frac{K_y}{T_y s + 1}$ пропорциональными звеньями с коэффициентами передачи K_D и K_y , соответственно. Таким образом, упрощенная модель ЭМО имеет вид, приведенный на рис.5.3, где $K = \frac{K_y}{k_E i_P}$, $K_f = \frac{R}{k_M k_E i_P^2}$, $T_M = \frac{R J_\Sigma}{k_M k_E}$.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить математические модели ЭМО (полную и упрощенную) и для заданного варианта (см. табл.10.1) рассчитать их параметры. При расчете параметров приведенный момент инерции редуктора считать $J_P = 0.2 J_D$. Коэффициент k_E рассчитывается исходя из формулы скорости вращения холостого хода $\omega_o = U_H / k_E$ (обратите внимание, что в табл.10.1 частота вращения холостого хода n_o измеряется в "оборотах в минуту").

2. Составить схему моделирования полной модели ЭМО и получить графики переходных процессов для \hat{U}_y , \hat{I} , $\hat{\omega}$, $\hat{\alpha}_M$ при $M_{CM} = 0$ Нм и $U = 5$ В. Время моделирования должно быть выбрано таким, чтобы обеспечить наилучшее представление переходного процесса.

3. Исследовать влияние момента сопротивления M_{CM} на вид переходных процессов. Для этого получить графики переходных процессов по \hat{U}_y , \hat{I} , $\hat{\omega}$ и $\hat{\alpha}_M$ при различных значениях момента сопротивления M_{CM} . Диапазон изменения M_{CM} : от 0 Нм до величины, равной $i_P M_H$. По временным диаграммам определить время переходного процесса t_{II} и установившиеся значения скорости ω_y и тока I_y .

4. Исследовать влияние момента инерции нагрузки J_M на вид переходных процессов. Определить время переходного процесса t_{II} и установившиеся значения ω_y и I_y . Диапазон изменения момента инерции: $\pm 50\%$ от заданного значения.

5. Исследовать влияние передаточного отношения редуктора i_P на вид переходных процессов (при изменении i_P учесть, что будет меняться и приведенный момент инерции, см. формулу (10.6)). Исследования проводить при величине момента сопротивления M_{CM} , равного половине максимального значения (см. п.3), рассчитанного для заданного значения i_P , и при $M_{CM} = 0$. Диапазон изменения передаточного отношения: $\pm 75\%$ от заданного значения.

6. Получить графики переходных процессов при меньших значениях постоянных времени: $T_y, T_{\text{я}}$ —уменьшить на порядок.

7. Собрать схему моделирования приближенной модели ЭМО и получить графики переходных процессов для измеренных значений $\hat{\omega}_M, \hat{\alpha}_M$ при $M_{\text{см}} = 0$. Проанализировать погрешности, вызванные упрощением модели, для чего результаты исследования сопоставить с данными, полученными в п.2. и в п.6.

Содержание отчета

1. Расчет параметров математической модели двигателя.
2. Схемы моделирования.
3. Графики переходных процессов по $\hat{U}_y, \hat{I}, \hat{\omega}, \hat{\alpha}_M$ и данные, полученные по этим графикам.
4. Вывод математических моделей вход-состояние-выход для полной и упрощенной схем моделирования ЭМО.
5. Выводы.

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Какое назначение имеет усилительно-преобразовательное устройство?
2. Какой передаточной функцией описывается редуктор?
3. Рассчитать момент сопротивления на валу двигателя (см. рис.10.1), если известны масса подвешенного груза и диаметр барабана ИМ.
4. Какая размерность коэффициентов передачи K и K_f упрощенной модели двигателя?
5. Какие параметры математической модели ЭМО влияют на время переходного процесса?
6. На основе структурной схемы (рис.10.2) получите методом структурных преобразований передаточную функцию ЭМО от U к α_M (от M_c к α_M).
7. В каком случае возможно использование упрощенной математической модели ЭМО?

Таблица 10.1

Варианты задания.

№ вар.	U_H В	n_0 об/мин	I_H А	M_H Нм	R Ом	$T_{\text{я}}$ мс	J_d кг м ²	T_y мс	i_p	J_M кг м ²
1	27	600	1,4	0,6	6,6	6	$1,5 \cdot 10^{-3}$	4	15	0,05
2	48	1000	12	5,5	0,75	5	$1,6 \cdot 10^{-3}$	6	16	2,75
3	36	4000	6,5	0,57	0,85	3	$2,2 \cdot 10^{-4}$	6	40	0,15
4	27	970	3,76	1	1,5	6	0,001	8	16	0,84
5	120	6000	21	4	0,53	8	$1,9 \cdot 10^{-3}$	8	40	5,75
6	27	2500	0,92	0,12	16,6	7	$7 \cdot 10^{-5}$	4	50	0,01
7	52	1240	18	7,21	0,3	10	0,004	10	20	2,48
8	110	2400	11,5	5	0,95	7	$2 \cdot 10^{-3}$	8	20	3,7
9	27	2440	0,38	0,04	32	6	$5,5 \cdot 10^{-6}$	3	40	0,03
10	65	2000	14,7	4,6	0,65	10	$3,4 \cdot 10^{-3}$	8	20	2,25
11	27	1975	1,23	0,16	4,2	5	$7 \cdot 10^{-5}$	8	25	0,15
12	27	646	10	4	0,72	2	0,003	10	10	1,6