

ЛЕКЦИЯ 2

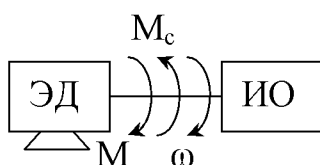
2 Механика электропривода

2.1 Статический и динамический моменты

Механическая часть ЭП – ротор (якорь) ЭД, элементы механической передачи (редуктор); ИО рабочей машины.

Движение механической части ЭП подчиняется законом механики.

Рассмотрим простейшую схему ЭП:



ЭД вращает точильный круг, находящийся на валу.

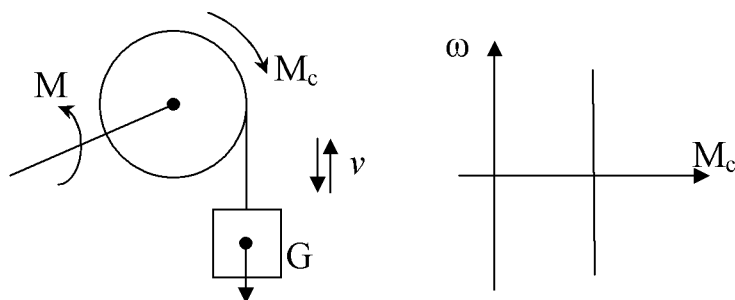
Рисунок 2.1 – Простейший ЭП

M – момент на валу ЭД (вращающий);

M_c – момент сопротивления ИО (создается за счет срезания слоя металла с затачиваемого инструмента) – статический момент.

Статические моменты бывают:

Активный M_c – действует всегда в одном направлении независимо от того, находится ли система в покое или движется в ту или иную сторону.



Например:

момент

Рисунок 2.2 – Пример активного момента

висящего груза (см. рисунок 2.2).

Реактивный M_c – действует только при движении и направлен всегда против движения (см. рисунок 2.3).

Например: момент, создаваемый силами трения, обусловленный резаньем металла.

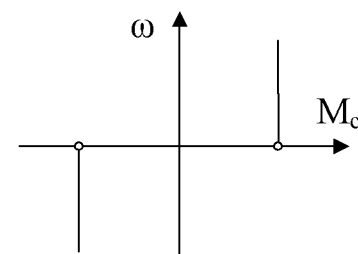


Рисунок 2.3 – График реактивного момента

Чтобы ЭП вращался момент двигателя M должен преодолевать статический момент M_c . Если $M \neq M_c$, то возникает динамический момент:

$$M_o = J \frac{d\omega}{dt}, \text{ где } \frac{d\omega}{dt} - \text{угловое ускорение.}$$

$J = m \cdot r^2$ [кг·м²] – момент инерции всех вращающихся масс (m – масса тела, r – радиус инерции); J характеризует инертность привода.

2.2 Уравнение движения электропривода

$$M_o = M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

1) $M > M_c$, тогда $J \cdot \frac{d\omega}{dt} (+)$, $\rightarrow \frac{d\omega}{dt} (+)$, \rightarrow ускорение ЭП (скорость $\omega \uparrow$)

2) $M = M_c$, тогда $J \cdot \frac{d\omega}{dt} = 0$, $\rightarrow \omega = \text{const}$ (частный случай $\omega = 0$), \rightarrow ЭП вращается с постоянной скоростью;

3) $M < M_c$, тогда $J \cdot \frac{d\omega}{dt} (-)$, \rightarrow торможение ЭП ($\omega \downarrow$)

В общем виде уравнение имеет вид:

$$\pm M \pm M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

"+" в том случае, когда момент направлен согласно, "-" – когда против движения.

$$1) M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

Например: передвижение моста/тележки крана.

$$2) -M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} - \text{электрическое торможение механизма.}$$

Например: при переключении фаз момент у ЭД тормозной

$$3) -M + M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

Например: тормозной спуск тяжелых грузов. ЭД включен на подъем, а тяжелый груз опускается (см. рисунок 2.4 а).

$$4) M + M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

Например: ЭД включается на спуск легкого груза (силовой спуск – см. рисунок 2.4 б).

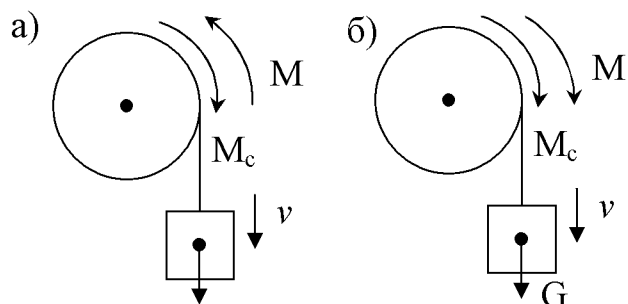


Рисунок 2.4 – Схематические обозначения спусков грузов: а – тормозной; б – силовой.

2.3 Механические характеристики

Эксплуатационные свойства ЭП зависят от соотношения момента и скорости движения ИО.

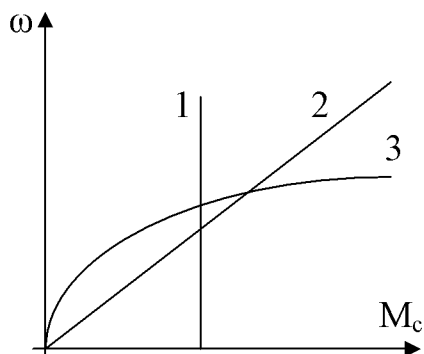


Рисунок 2.5 – Характеристики производственных механизмов

Зависимости $\omega=f(M_c)$, $n=f(M_c)$ – называются механическими характеристиками производственного механизма (рисунок 2.5):

1 – $M_c = \text{const}$ (брус на барабане)

2 – $M_c \sim \omega$ (генератор постоянного тока с независимым возбуждением, работающий на $R=\text{const}$)

3 – $M_c \sim \omega^2$ (вентиляторы, компрессоры)

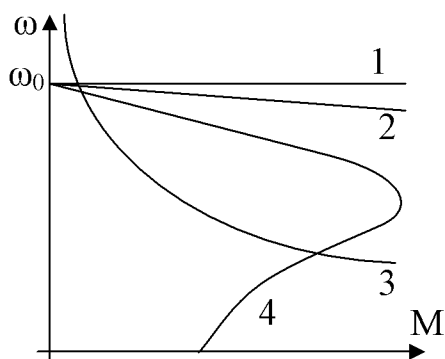


Рисунок 2.6 – Механические характеристики ЭД

Зависимости $\omega=f(M_c)$, $n=f(M_c)$ – называются механическими характеристиками ЭД (рисунок 2.6).

1 – Синхронный двигатель;

2 – ЭД постоянного тока независимого возбуждения;

3 – ЭД постоянного тока последовательного возбуждения;

4 – Асинхронный двигатель;

Если графики 2.5 и 2.6 совместить, то получим точку установившегося режима.

В точке А (рисунок 2.7) $M_c=M$, значит это точка установившейся работы (со скоростью $\omega_{уст}$)

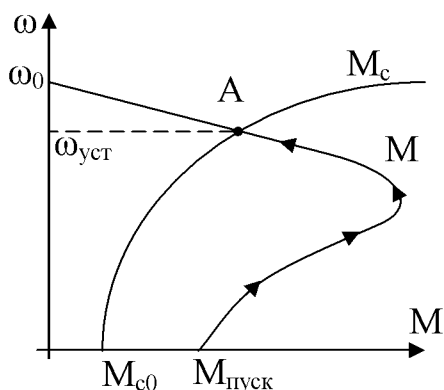


Рисунок 2.7 – Характеристики АД, вращающего вентилятор

2.4 Жесткость характеристики

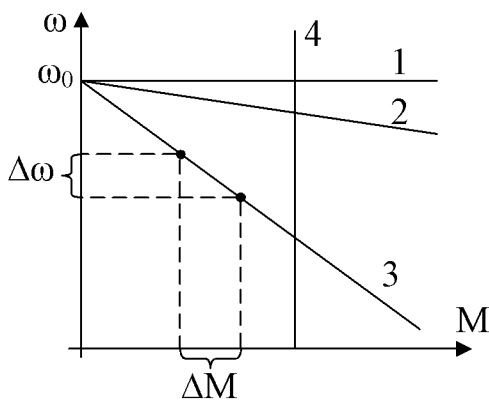


Рисунок 2.8 – Характеристики ЭД разной жесткости

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{M_2 - M_1}{\omega_2 - \omega_1}$$

На рисунке 2.8:

- 1 – абсолютно жесткая (СД)
- 2 – жесткая (ДПТ НВ, АД)
- 3 – мягкая (ДПТ ПВ, АД с добавочным сопротивлением в цепи ротора)
- 4 – абсолютно мягкая (груз на валу)

2.5 Приведение статических моментов и моментов инерции

Элементы механической части ЭП связаны между собой и оказывают друг на друга воздействие.

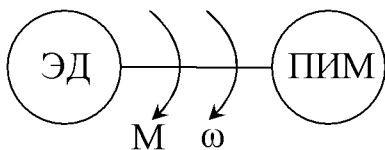


Рисунок 2.9 – Схема системы ЭП

Приведение – пересчет входящих в уравнение движения сил, моментов, масс, моментов инерции к элементу, движение которого рассматривается (чаще к валу ЭД).

Для расчетов реальную систему (ЭД, редуктор, барабан, груз – см. рисунки 2.10, 2.12, 2.13) приводят в простейшую (см. рисунок 2.9, 2.11).

ПИМ – приведенный исполнительный механизм.

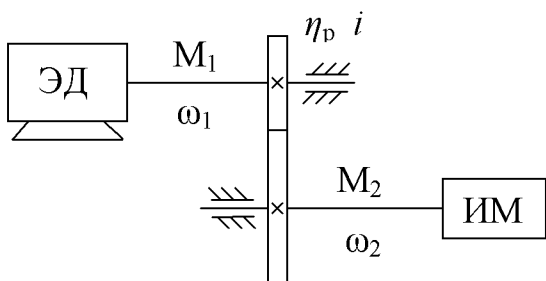


Рисунок 2.10 – Реальная система

Условия приведения.

- 1) при данной скорости вращения ЭД мощность, требуемая ПИМ должна быть равна мощности реальной системы;
- 2) при данной скорости ЭД запас кинетической энергии ПИМ должен быть равен реальной системы.

I. Приведение M_c :

1. Вращательное движение ИМ.

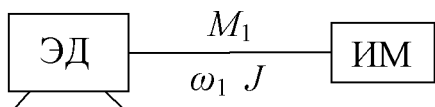


Рисунок 2.11 – Приведенная система ЭП

$P_1 = M_1 \cdot \omega_1$ – мощность на валу двигателя

$P_2 = M_2 \cdot \omega_2$ – мощность, требуемая на валу ИМ

С учетом потерь: $P_1 = P_2 / \eta_p$

$$M_1 \cdot \omega_1 = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{\eta} \rightarrow M_1 = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{\eta \cdot \omega_1},$$

где η_p – КПД редуктора

i – передаточное число $i = \omega_1 / \omega_2$

$$M_1 = \frac{M_2}{i \cdot \eta}$$

– формула приведения момента сопротивления

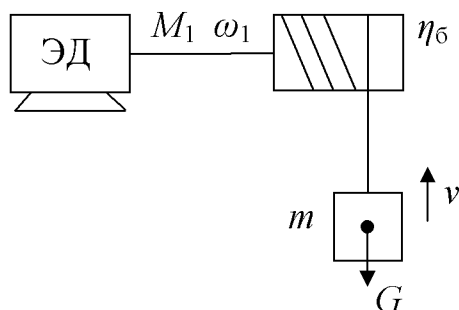


Рис 2.12 – Реальная схема ЭП с барабаном

2. Поступательное движение ИМ.

$P_2 = mgv$ – мощность, требующаяся

для подъема груза

$P_{эд} = M_1 \cdot \omega_1$ – на валу ЭД

С учетом потерь:

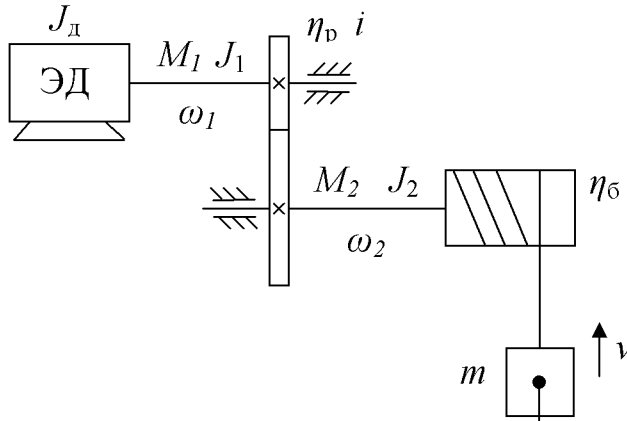
$$M_1 \cdot \omega_1 = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta_b} \rightarrow M_1 = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta_b \cdot \omega_1},$$

Приведенный момент сопротивления

$$M_1 = \frac{m \cdot g \cdot \rho}{\eta}$$

, где $\rho = \frac{v}{\omega_1}$ – радиус приведения

3. Двигатель через редуктор вращает барабан и поднимает груз.



$$M_1 = \frac{M_2}{i \cdot \eta} \quad M_2 = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta_b \cdot \omega_2}$$

$$M_1 = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta_p \cdot \eta_b \cdot i \cdot \omega_2}$$

$$M_1 = \frac{m \cdot g \cdot \rho}{\eta_p \cdot \eta_b}$$

где $\rho = \frac{v}{\omega_1} = \frac{v}{i \cdot \omega_2}$ – радиус

приведения

$$\rho = \frac{v}{\omega_1} = \frac{R_1 \cdot \omega_2}{\omega_1} = \frac{R_b}{i}$$

Рисунок 2.13 – Схема ЭП с редуктором и барабаном

4. Спуск тяжелых грузов.

Опускание происходит за счет веса груза. Чтобы скорость была постоянной, ЭД должен развивать тормозящий момент. Энергия передается от груза к валу двигателя (т.е. наоборот), → ЭД развивает меньший момент.

$$M_1 = m \cdot g \cdot \rho \cdot \eta_p \cdot \eta_b$$

II. Приведение момента инерции.

На рисунке 2.13: J_0 – момент инерции ЭД (в паспорте);

J_1 – момент инерции всех масс, вращающийся со скоростью ω_1 ;

J_2 – момент инерции всех масс, вращающийся со скоростью ω_2 .

По условию 2 для приведенной системы:

$J \frac{\omega_1^2}{2}$ – кинетическая энергия

$$J \frac{\omega_1^2}{2} = J_0 \frac{\omega_1^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_1^2}{2} + \frac{m v^2}{2};$$

Умножим обе части уравнения на $\frac{2}{\omega_1^2}$. Получим:

$$J = J_0 + J_1 + J_2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} + m \left(\frac{v}{\omega_1} \right)^2$$

$$J = J_0 + J_1 + \frac{J_2}{i^2} + m \rho^2$$

Задача 2.1

Дано:

$$J_0 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_1 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_2 = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$m = 1000 \text{ кг}$$

$$R_0 = 0,15 \text{ м}$$

$$v = 0,9 \text{ м/с}$$

$$Z_1 = 14$$

$$Z_2 = 86$$

$$\eta_p = 0,97$$

$$\eta_0 = 0,96$$

$M_{c\uparrow}$, $M_{c\downarrow}$, J -?

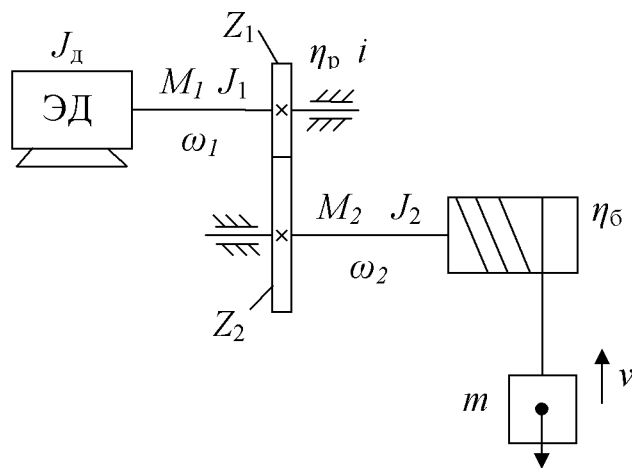


Рисунок 2.14 – Эскиз к задаче 2.1

Решение:

1. Передаточное число редуктора

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{86}{14} = 6$$

2. Радиус приведения, м

$$\rho = \frac{R_0}{i} = \frac{0,15}{6} = 0,024$$

3. Приведенный момент инерции, кг · м²

$$J = J_g + J_1 + J_2 / i^2 + m\rho^2 = 0,1 + 0,02 + 2 / 36 + 1000 \cdot (0,024)^2 = 0,75$$

4. Статический момент при подъёме, Н · м

$$M_{c\uparrow} = \frac{mg\rho}{\eta_0 \cdot \eta_p} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,024}{0,97 \cdot 0,96} = 252$$

5. Статический момент при спуске, Н · м

$$M_{c\downarrow} = mg\rho \cdot \eta_0 \cdot \eta_p = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,024 \cdot 0,96 \cdot 0,97 = 219$$

Задание:

Письменно ответить на следующие вопросы (сделать фотоотчет и выслать по эл. почте):

1. Записать основное уравнение электропривода (ЭП).
2. Записать формулу для нахождения жесткости характеристик, пояснив входящие в нее параметры.
3. Что такое операция приведения и для чего она нужна?
4. Записать формулы для приведенных моментов сопротивления при различных видах движения (поступательном, вращательном, подъеме и спуске груза).
5. Записать формулу для приведенного момента инерции.
6. Разобраться в решении задачи 2.1 и записать его.