



Лекция №5. Переходные процессы в электроприводах.

1. Общие положения.
2. Дифференциальное уравнение движения электропривода.
3. Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

Общие положения.

Переходные процессы имеют место при пуске, торможении, реверсировании электропривода (ЭП), при изменении нагрузки и условий питания двигателя.

Переходный процесс сопровождается изменением скорости ЭП, момента и тока электродвигателя и температуры его нагрева.

Общие положения.

Режим перехода ЭП из одного установившегося состояния в другое, в процессе которого происходит изменение соответствующих видов энергии, называют *переходным процессом* или *динамическим режимом* электропривода.

При переходном процессе одновременно и взаимосвязано изменяются механическая (кинетическая), электромагнитная и тепловая энергия системы ЭП.

Общие положения.

Состояние электропривода в любой момент времени определяется текущими значениями переменных и внешними воздействиями.

Переменные величины системы ЭП, как и переходные процессы. Подразделяют на:

- механические (моменты, силы, скорости, ускорения);
- электромагнитные (токи обмоток, МДС и т.д.);
- тепловые (потери мощности и энергии, температуры частей электродвигателя).

Общие положения.

Из-за инерционности системы ЭП любой переходный процесс происходит в течение определенного интервала времени.

Поэтому рассмотрение переходных процессов ЭП сводится к определению и анализу зависимостей изменения различных переменных системы ЭП во времени, например $\omega=f(t)$, $M=f(t)$, $I=f(t)$ и т.д.

Общие положения.

В установившемся режиме момент двигателя развиваемый на валу, уравновешен статическим моментом, действующим на валу со стороны нагрузки $M=M_c$, $M_{изб}=0$.

Если $M_{изб} \neq 0$, то установившийся режим нарушается и движение электропривода будет происходить с ускорением, то есть дополнительно возникает динамическая нагрузка ($M_{изб}=M_{дин}$).

Общие положения.

Таким образом, момент электродвигателя M всегда уравновешен суммой статического M_c , и динамического $M_{дин}$

$$M = M_c + M_{дин}.$$

Статический момент действует постоянно, а динамический – только в переходных режимах.

Дифференциальное уравнение движения электропривода.

Кинетическую энергию A_K , Дж, движущихся в системе электропривода масс можно записать в виде

$$A_K = \frac{J\omega^2}{2}$$

где J – момент инерции всех движущихся масс относительно угловой скорости вала электродвигателя, кг·м²;

ω – угловая скорость вала электродвигателя, с⁻¹.

Дифференциальное уравнение движения электропривода.

С изменением скорости изменяется во времени и кинетическая энергия системы электропривода, при этом на валу электродвигателя возникает динамическая нагрузка мощностью

$$P_{\text{дин}} = \frac{dA_K}{dt} = \frac{d\left(J \frac{\omega^2}{2}\right)}{dt} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt}.$$

Дифференциальное уравнение движения электропривода.

Учитывая, что мощность и момент связаны через угловую скорость, получаем

$$M_{дин} = \frac{P_{дин}}{\omega} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}.$$

Изменение момента целесообразно связать не со временем, а с углом поворота вала электродвигателя

$$\omega = d\alpha / dt \Rightarrow dt = d\alpha / \omega \Rightarrow$$

$$M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha}.$$

Дифференциальное уравнение движения электропривода.

Так как $M_{\text{изб}} = M_{\text{дин}}$, а $M_{\text{изб}} = M - M_c$, то получим

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha}.$$

Дифференциальное уравнение движения электропривода

В большинстве случаев $J = \text{const}$, то есть $dJ/d\alpha = 0$, поэтому

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

Второй закон Ньютона для вращательного движения
Электропривод. Ч.1

Дифференциальное уравнение движения электропривода.

$M_{изб} = 0$ – система электропривода находится в состоянии покоя или установившегося движения, $\left(\frac{d\omega}{dt} = 0\right)$.

$M_{изб} > 0$ – происходит ускорение, $\left(\frac{d\omega}{dt} > 0\right)$.

$M_{изб} < 0$ – замедление системы электропривода, $\left(\frac{d\omega}{dt} < 0\right)$.

Дифференциальное уравнение движения электропривода.

Изложенное справедливо и для ЭП поступательного движения, с той лишь разницей, что вместо момента инерции необходимо использовать массу инерции m , вместо моментов M – силу F , а вместо угловой скорости ω – линейную скорость v .

Применительно к поступательному движению

$$F - F_c = m \cdot \frac{dv}{dt}.$$

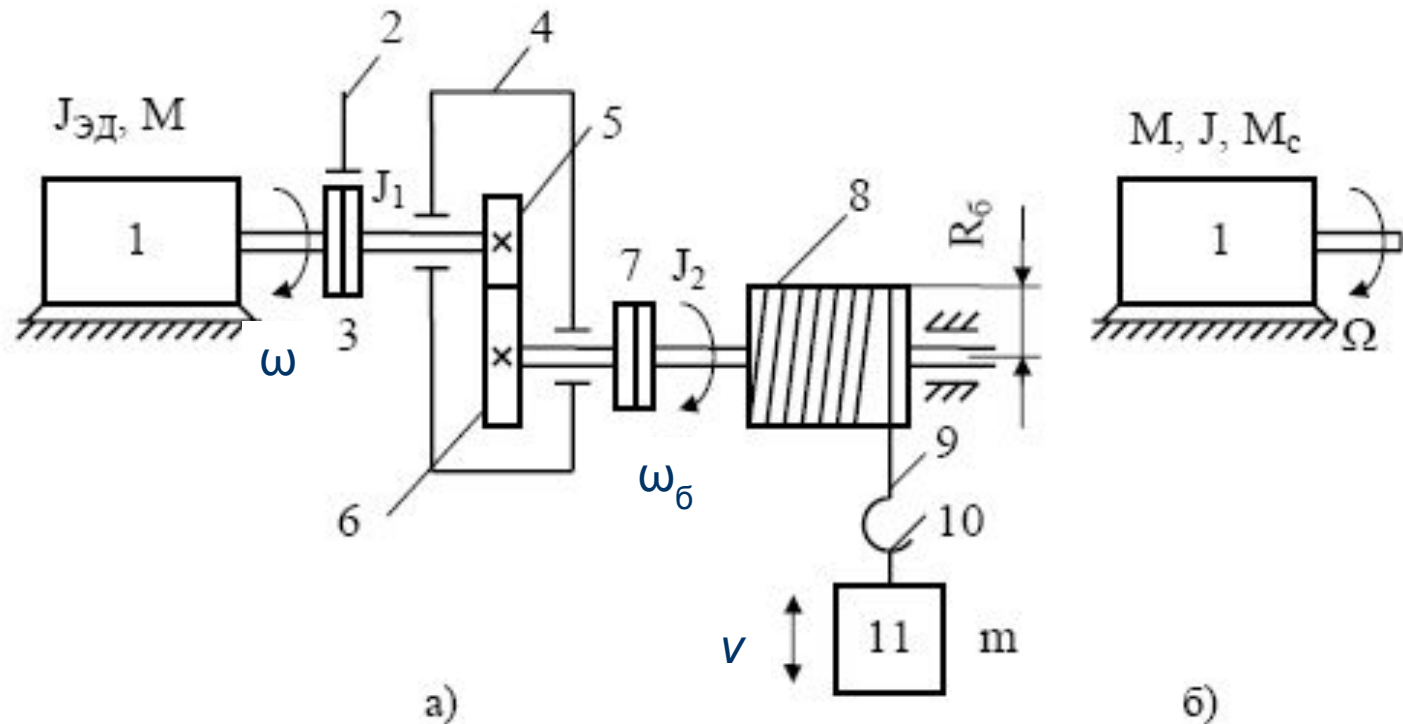
Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

Для того, чтобы анализировать поведение ЭП как механической системы с использованием дифференциального уравнения движения ЭП, необходимо все статические моменты и массы инерции, действующие в реальной системе ЭП, приводить к валу электродвигателя.

Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

При этом производится пересчет сил, моментов, масс и моментов инерции относительно двигателя электропривода. Этот расчёт называется *операцией приведения*, а сами пересчитанные переменные и параметры – *приведёнными*. В этом случае реальная механическая часть электропривода заменяется расчётной моделью.

Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.



Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

Для определения приведённого момента инерции J необходимо приравнять выражения кинетической энергии в реальной и расчётной схемах

$$\frac{J\omega^2}{2} = \frac{J_{\partial}\omega^2}{2} + \frac{J_1\omega^2}{2} + \frac{J_2 \cdot \omega_{\partial}^2}{2} + \frac{mv^2}{2},$$

где J_1 – суммарный момент инерции элементов, вращающихся со скоростью ω (кроме двигателя),
 J_2 – момент инерции элементов, вращающихся со скоростью барабана ω_{∂} .

Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

Умножая обе части этого выражения на $2 / \omega^2$, получим

$$J = J_{\partial} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_{\partial}^2}{\omega^2} + m \cdot \frac{v^2}{\omega^2},$$

Введем коэффициент, учитывающий момент инерции механической передачи, а также учтем, что отношение угловых скоростей двигателя и рабочей машины есть передаточное отношение

$$k = 1,05 \dots 1,2; \quad i = \frac{\omega}{\omega_{\partial}} \Rightarrow J = k \cdot J_{\partial} + \frac{J_M}{i^2} + m \cdot \frac{v^2}{\omega^2},$$

Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

Момент инерции простых тел можно рассчитать.

Например, момент инерции цилиндра, $m_{ц}$ с внешним $R_{ц}$ и внутренним $r_{ц}$ радиусами относительно продольной оси

$$J_{ц} = m_{ц} \cdot (R_{ц}^2 - r_{ц}^2) / 2.$$

Для тел сложной конфигурации и совершающих сложные движения используют методы экспериментального определения момента инерции.

Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

Приведение моментов и сил статического сопротивления может быть выполнено на основании энергетического баланса для механической части ЭП. В общем случае энергетический баланс сводится к равенству мощности, которую развивает электродвигатель в установившемся режиме работы, когда $M=M_c$, мощностям нагрузок вращательного (M_m, ω_m) и поступательного (F_m, v_m) движений.

Приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.

С учетом КПД передачи получим

$$M_C \omega = \frac{M_{MC} \omega_M}{\eta_{n\omega}} + \frac{F_M v_M}{\eta_{nv}}$$

Разделим обе части уравнения на ω и с учетом того, что передаточное отношение механической передачи $i = \omega / \omega_M$, получим

$$M_C = \frac{M_{MC}}{i \eta_{n\omega}} + \frac{F_M v_M}{\omega \eta_{nv}}$$