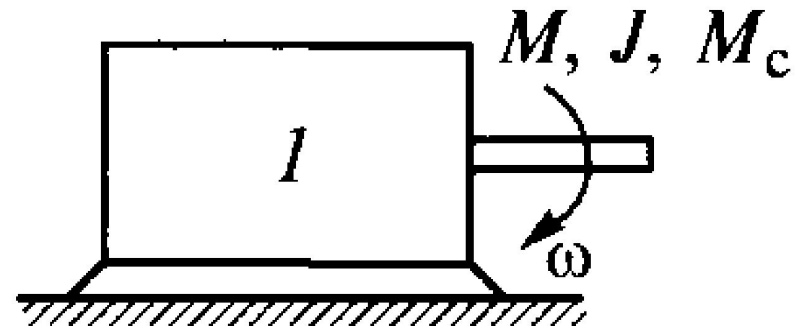
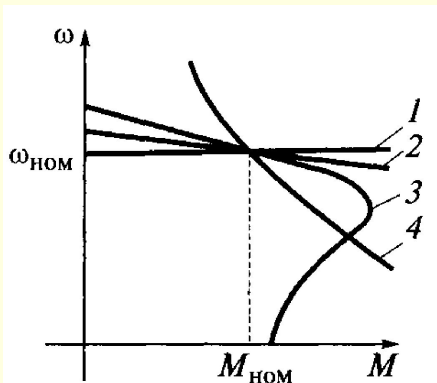
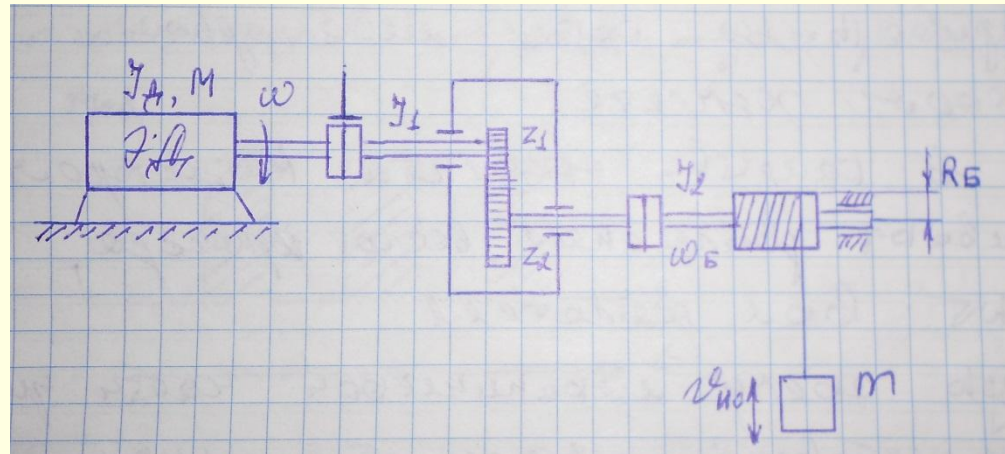
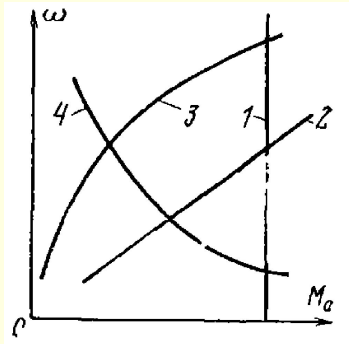


# Электропривод

Проверка домашнего задания урока № 2.

1. Механические характеристики производственных механизмов.
2. Механические характеристики электродвигателей.
3. Приведение статических моментов и моментов инерции к одному валу.



# Электропривод

---

## Урок № 3

Тема: Энергетический баланс для  
механической части  
электропривода

# Электропривод

---

## Энергетический баланс для механической части электропривода

### План

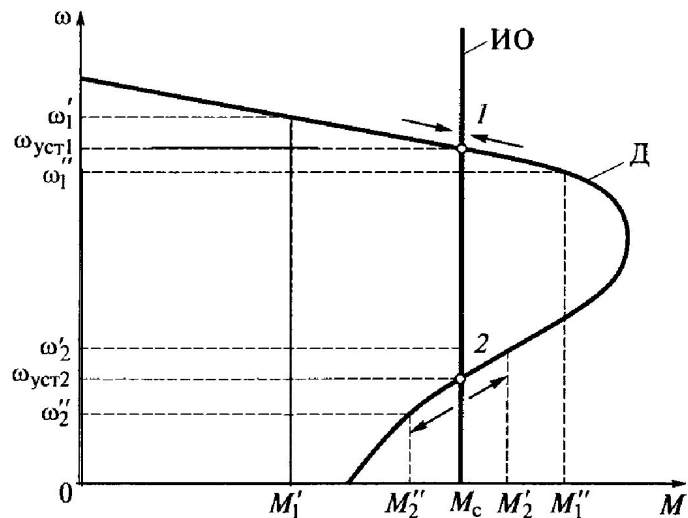
1. Установившиеся режимы и устойчивость работы электропривода.
2. Уравнение движения электропривода.
3. Определение времени пуска и торможения электропривода.
4. Решение задач.
5. Домашнее задание.

# Электропривод

## 1. Установившиеся режимы и устойчивость работы электропривода

Для работы двигателя и производственного механизма в установившемся режиме должно существовать равновесие момента сопротивления механизма и вращательного момента двигателя при определенной скорости, т.е.  $M = M_c$ .

Изменение момента сопротивления на валу электродвигателя приводит к изменению скорости вращения двигателя и его момента – привод переходит автоматически в другое устойчивое состояние. Эта особенность присуща только электродвигателям и роль автоматического регулятора выполняет противо ЭДС двигателя. Привод статически устойчив, если в точке установив-



шего режима выполняется условие

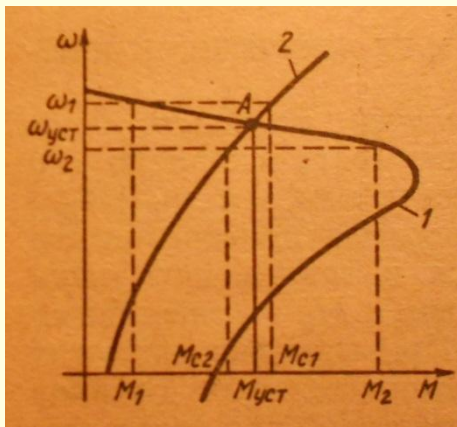
$$dM / d\omega - dM_c / d\omega < 0 \text{ или } \beta - \beta_c < 0.$$

При постоянном моменте нагрузки статическая устойчивость будет определяться только жесткостью механической характеристики двигателя, т.к. в этом случае  $dM_c / d\omega = 0$ , см. механическая характеристика ИО).

# Электропривод

## 1. Установившиеся режимы и устойчивость работы электропривода

На приведенном слайде точка А пересечения характеристик двигателя 1 и исполнительного механизма 2 соответствует установившемуся движению электропривода со скоростью  $\omega_{уст}$ . Если по какой то причине скорость ЭП повысилась до уровня  $\omega_1$ , то, как видно из характеристик, момент нагрузки  $M_{с1}$  станет больше момента двигателя  $M_1$ . Тогда в соответствии с уравнением  $\pm M \pm M_c = J \cdot d\omega / dt$  в системе «двигатель – исполнительный механизм» будет действовать отрицательный динамический момент. Начнется процесс торможения до скорости  $\omega_{уст}$ .



Пусть по какой-то причине (кратковременное исчезновение напряжения) произошло снижение скорости до  $\omega_2$ . В этом случае момент двигателя  $M_2$  превысит момент нагрузки  $M_{с2}$  и положительный динамический момент начнет увеличивать скорость до  $\omega_{уст}$ .

# Электропривод

## 1. Установившиеся режимы и устойчивость работы электропривода

Если жесткость механической характеристики двигателя отрицательна, то работа в установившемся режиме будет устойчива, т.к.

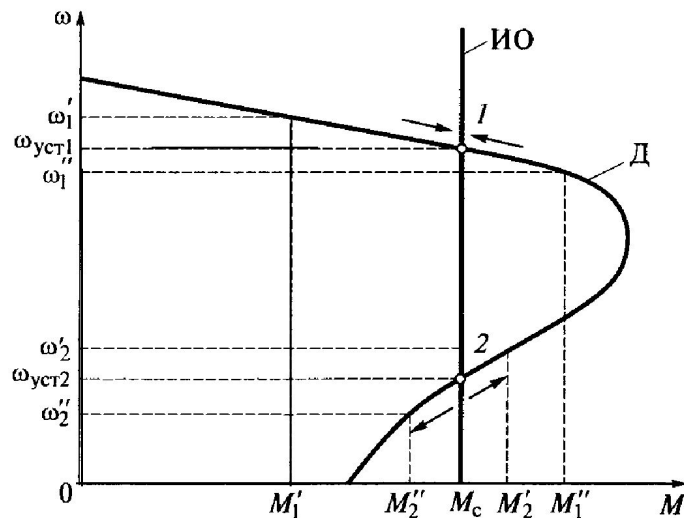
$$dM / d\omega - dM_c / d\omega = dM / d\omega < 0,$$

что имеет место при работе привода в точке 1.

Если нагрузить двигатель и перевести его для работы в точку 2, то

$$dM / d\omega - dM_c / d\omega = dM / d\omega > 0$$

и работа привода в этой точке станет неустойчивой.



При проектировании электропривода механическая характеристика производственного механизма уже задана (известна).

Для устойчивой работы электропривода придется подобрать механическую характеристику двигателя соответствующей формы. Это достигается подбором электродвигателя соответствующего типа.

# Электропривод

## 2. Уравнение движения электропривода

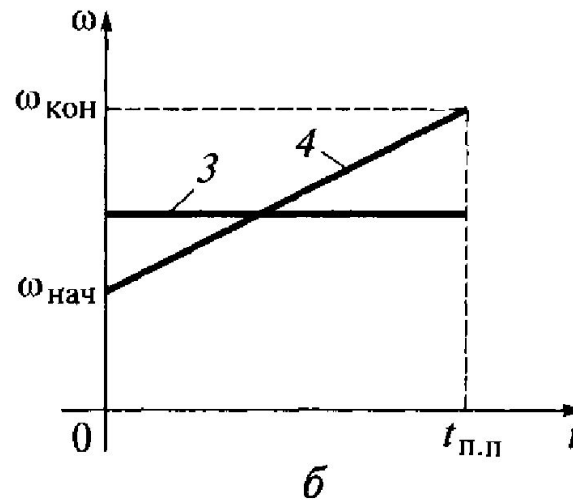
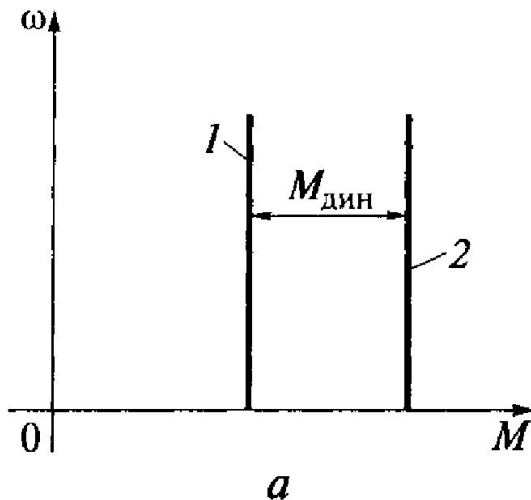
При переходе электропривода из одного установившегося режима в другой привод ускоряется или замедляется и возникает инерционная сила или инерционный момент, которые двигатель должен преодолеть.

Режим работы электропривода при переходе из одного установившегося состояния к другому, когда изменяются скорость, момент и ток, называется переходным режимом.

Причины возникновения переходных режимов могут быть следующие:

- ◆ пуск привода,
- ◆ изменение нагрузки привода,

остановка привода,  
изменение направления вращения привода,  
аварийные ситуации,  
изменение напряжения или частоты сети,  
несимметрия напряжения.



# Электропривод

## 2. Уравнение движения электропривода

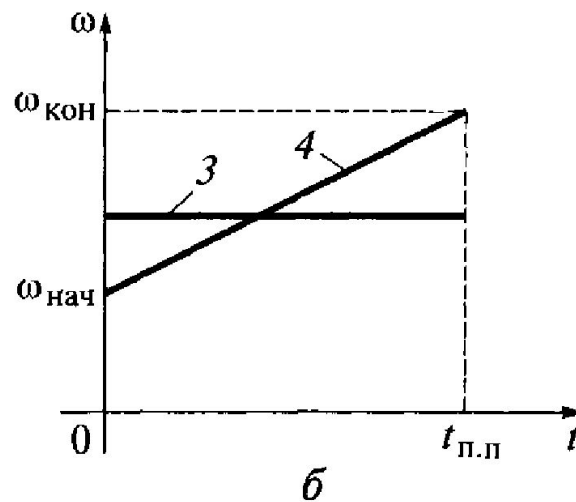
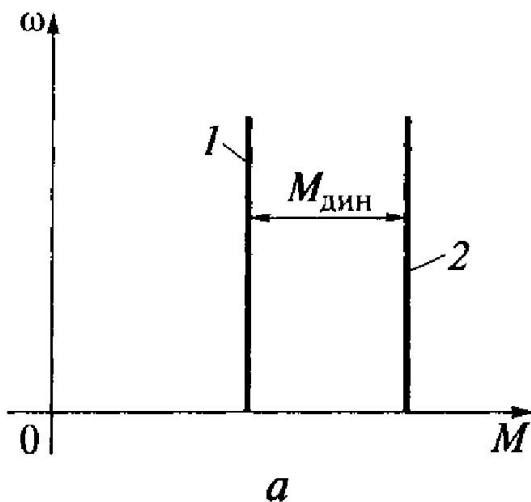
При вращательном движении вращающий момент двигателя  $M$  всегда уравновешивается моментом сопротивления машины  $M_c$  и инерционным моментом  $J \cdot d\omega / dt$ .

В соответствии с изложенным уравнение равновесия моментов при вращательном движении запишется:

$$M - M_c = J \cdot d\omega / dt \quad \text{или} \quad M = M_c + J \cdot d\omega / dt.$$

Последние уравнения являются уравнениями движения электропривода и

показывают, что развиваемый двигателем вращающий момент уравновешивается моментом сопротивления  $M_c$  на его валу и инерционным или динамическим моментом  $J \cdot d\omega / dt$ .





# Электропривод

## 2. Уравнение движения электропривода

Анализ уравнений движения электропривода

$$M - M_c = J \cdot d\omega / dt \quad \text{или} \quad M = M_c + J \cdot d\omega / dt$$

показывает, что:

- ◆ при  $M > M_c$   $J \cdot d\omega / dt > 0$ , т.е. имеет место ускорение привода.
- ◆ при  $M < M_c$   $J \cdot d\omega / dt < 0$ , т.е. имеет место замедление привода.
- ◆ при  $M = M_c$   $J \cdot d\omega / dt = 0$ , в данном случае имеет место установившийся режим.

Вращающий момент двигателя принимается положительным, если он направлен в сторону движения привода. Если он направлен в сторону обратную движению, то считается отрицательным.

Знак минус перед  $M_c$  указывает на тормозящее действие момента сопротивления (усилие резания, потери трения, подъем груза, сжатие пружины и т.д.) при положительном знаке скорости.

# Электропривод

## 2. Уравнение движения электропривода

При дальнейшем анализе уравнения движения электропривода

$$M - M_c = J \cdot d\omega / dt \quad \text{или} \quad M = M_c + J \cdot d\omega / dt$$

нужно отметить следующее.

При спуске груза, раскручивании или разжатии пружины перед  $M_c$  ставится знак плюс, поскольку в этих случаях момент сопротивления помогает вращению привода.

Инерционный (динамический) момент  $J \cdot d\omega / dt$  (правая часть уравнения) проявляется только во время переходных режимов, когда изменяется скорость. При ускорении электропривода этот момент направлен против движения, а при торможении он поддерживает движение.

Инерционный момент как по значению, так и по знаку определяется алгебраической суммой момента двигателя и момента сопротивления.

В общем виде уравнение движения электропривода может быть записано

$$\pm M \pm M_c = J \cdot d\omega / dt.$$

Выбор знаков перед значениями моментов зависит от режима работы двигателя и характера моментов сопротивления.

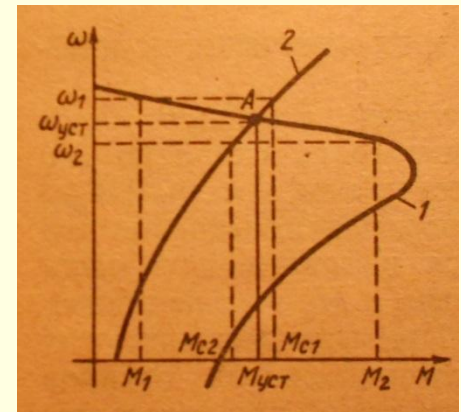
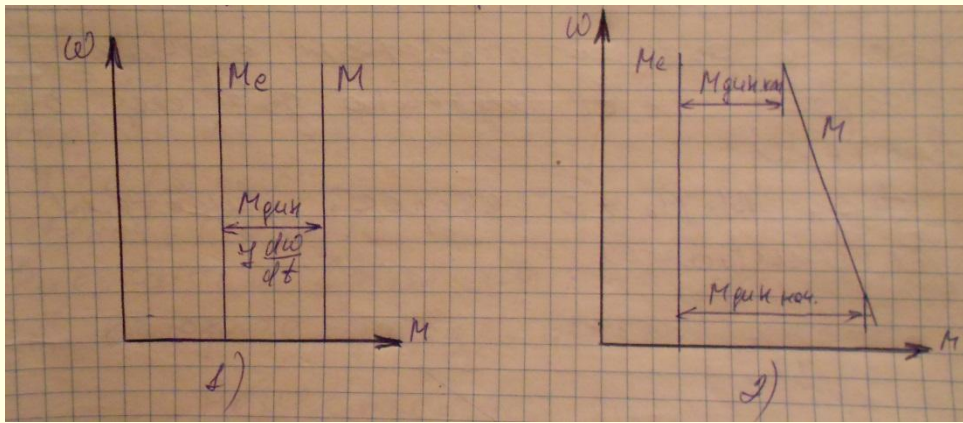
# Электропривод

## 3. Определение времени пуска и торможения электропривода

В электроприводе наиболее часто имеют место случаи, когда моменты двигателя и исполнительного механизма, а также и динамический момент ЭП являются функциями скорости. Такие переходные процессы можно условно разделить на три группы:

- ◆ с постоянным динамическим моментом,
- ◆ линейно зависящим от скорости динамическим моментом,
- ◆ с произвольным динамическим моментом.

Рассмотрим случай с постоянным динамическим моментом. Уравнение движения ЭП  $M - M_c = J \cdot d\omega / dt$  в этом случае решается методом разделения



# Электропривод

3. Определение времени пуска и торможения электропривода переменных и решение будет иметь вид:

$$\omega = (M - M_c) \cdot t / J + C.$$

Постоянную интегрирования  $C$  можно определить из начальных условий переходного процесса.

При  $t = 0$   $\omega = \omega_{\text{нач}}$ , тогда  $C = \omega_{\text{нач}}$ .

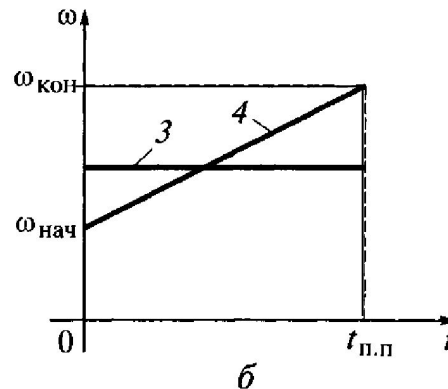
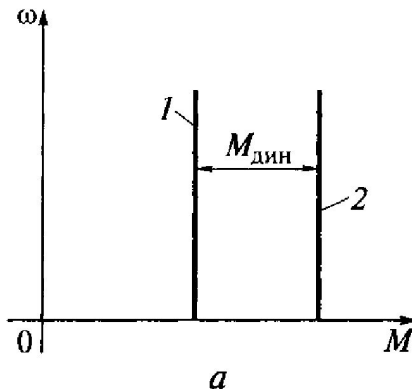
Окончательное решение будет иметь вид  $\omega = (M - M_c) \cdot t / J + \omega_{\text{нач}}$ .

Полученное выражение показывает, что в рассматриваемом случае скорость  $\omega(t)$  линейно зависит от времени. При  $M - M_c > 0$  скорость двигателя увеличивается.

увеличивается.

Время переходного процесса, за которое скорость изменится от начального значения до конечного

$$t_{\text{п.п}} = J \cdot (\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) / (M - M_c)$$



# Электропривод

## 4. Решение задач

### Задача

Рассчитать и построить зависимость скорости  $\omega(t)$  при следующих исходных данных:

Дано:  $M = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $M_c = 90 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $J = 0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $\omega_{\text{нач}} = 150 \text{ рад / с}$ .

Рассчитать время переходного процесса, за которое электропривод остановится.

### Р е ш е н и е

1. Выражение для изменения скорости ЭП будет иметь вид

$$\omega = (M - M_c) \cdot t / J + \omega_{\text{нач.}}$$

2. Подставив числовые значения в приведенное выражение, получим

$$\omega = (30 - 90) \cdot t / 0,15 + 150 = - 400t + 150$$

# Электропривод

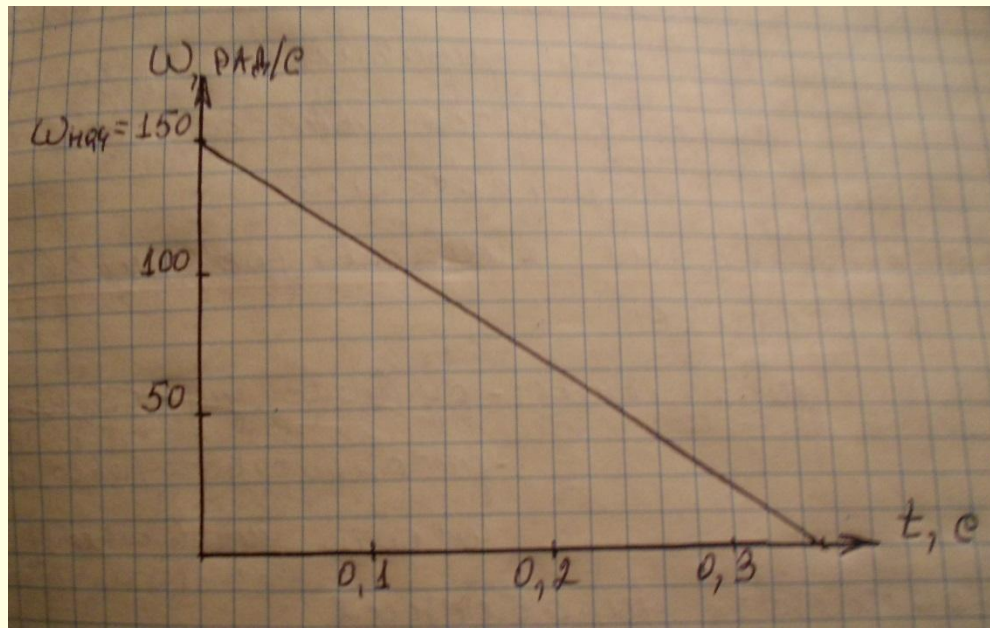
## 4. Решение задач

### Задача

#### 3. Время остановки электропривода

$$t_{\text{пп}} = J \cdot (\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) / (M - M_c) = 0,15 \cdot (0 - 150) / (30 - 90) = 0,375 \text{ с.}$$

4. Так как зависимость скорости от времени линейная, то для построения графика достаточно двух точек



# Электропривод

---

## 5. Домашнее задание

Л1, с. 25 – 35

### Задача

Определить динамический момент, который при  $J = (N / 10) \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  обеспечивает увеличение скорости в два раза за время  $t_{пп} = 0,5 \text{ с}$  при начальной скорости  $\omega_{нач} = 50 \text{ рад / с}$ .