

## **Учебники:**

**Епифанов, А.П.**

Электропривод в сельском хозяйстве [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. П. Епифанов, А. Г. Гущинский. - СПб : Лань, 2010. - 224 с.

**Симоненко А.С.**

Основы электропривода [Текст]: учебное пособие / сост. А.С. Симоненко. - Кострома: КГСХА, 2010. - 182 с.

**Коломиец А.П.**

Электропривод и электрооборудование [Текст] : учебник для вузов / Коломиец А.П. ; Кондратьева Н.П. ; Владыкин И.Р. ; Юран С.И. - М : КолосС, 2006. - 328 с

**Электропривод** : лабораторный практикум для студентов направлений подготовки 110800.62 «Агроинженерия» и 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения / сост. **А.А. Васильков, И.В. Бушуев.** — Караваево : Костромская ГСХА, 2013. — 34 с.

**Электропривод. Ч. I** : лабораторный практикум для студентов специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» очной формы обучения / сост. **А.С. Симоненко.** — 3-е изд., стерео- тип. — Кострома, 2010. — 62 с.

## **Тема № 1**

---

### **Общие сведения и определения в курсе электропривода**

1. Роль электропривода в народном хозяйстве.
2. Структура и основные элементы автоматизированного электропривода.
3. Классификация электроприводов и их общая характеристика
4. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей. Понятие жесткости.
5. Понятия, выводы уравнения и анализ статической устойчивости электропривода.
6. Система относительных единиц в теории электропривода (самостоятельно).

## **1. Роль электропривода в народном хозяйстве**

*Электрический привод – сравнительно молодая отрасль науки и техники, насчитывающая немногим более столетия с момента практического применения.*

*Диапазон применений современного электропривода: от искусственного сердца до шагающего экскаватора, от вентилятора до антенны радиотелескопа, от стиральной машины до гибкой производственной системы. Именно эта особенность - теснейшее взаимодействие с технологической сферой - оказывала и оказывает на электропривод мощное стимулирующее влияние.*

*Большинство стационарных сельскохозяйственных процессов выполняется с использованием электрической энергии. Все чаще электрооборудование применяется в мобильных сельскохозяйственных машинах.*

*В сельском хозяйстве наибольшее распространение получили электропривод машин и механизмов, электрическое освещение помещений, облучение и инфракрасный обогрев животных, электротермические и электро-технологические установки. До 60 % потребляемой энергии в сельском хозяйстве приходится на электропривод. В большинстве сельскохозяйственных процессов используются простые нерегулируемые механизмы, такие как вентиляторы, насосы, транспортеры, измельчители и дробилки кормов. В состав этих машин входит, как правило, простой электропривод с асинхронным электродвигателем и простейшая система управления.*

*В настоящее время интенсивно развиваются энергосберегающие технологии, требующие применения регулируемых приводов. Такие электроприводы оснащаются силовыми преобразователями энергии, выполняющими различные функции управления, в том числе регулирование частоты, автоматическую защиту и самодиагностику.*

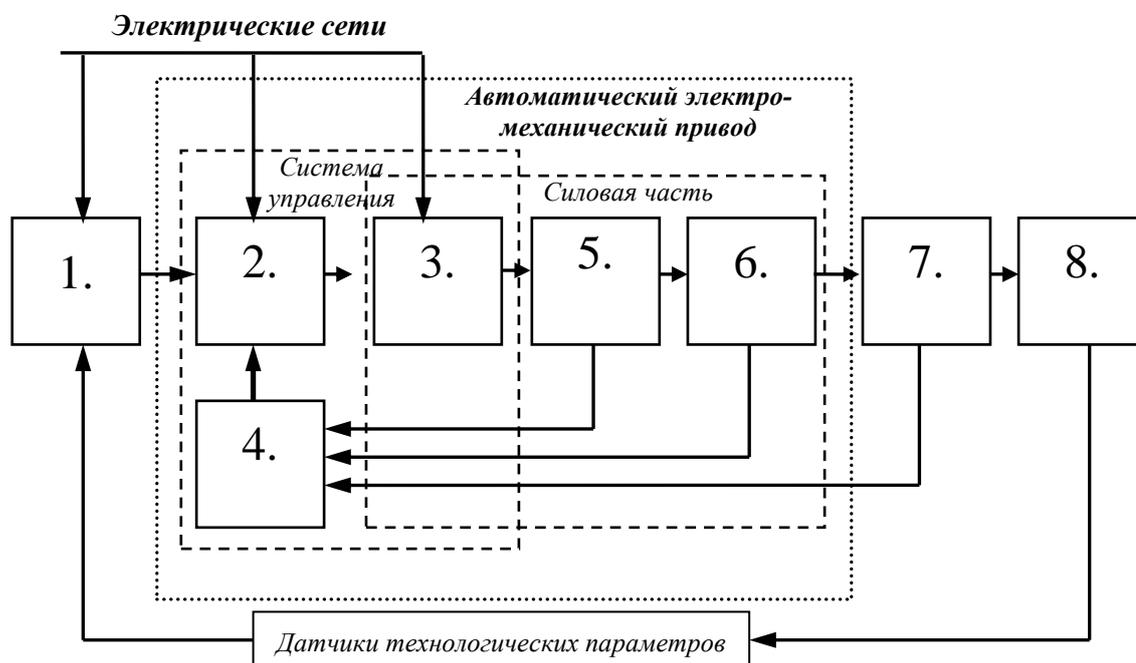
*Расширение электрификации процессов привело к качественным изменениям в технологиях, способствует автоматизации, улучшению условий и повышению производительности труда.*

*Современное оборудование требует квалифицированного обслуживания, понимания техническим персоналом процессов, происходящих не только в технологических машинах, но и в электрооборудовании, что приводит к возрастанию значения дисциплины.*

## 2. Структура и основные элементы автоматизированного электропривода

Согласно ГОСТ Р 50369–92 **Электроприводом называется:** электромеханическая система, состоящая в общем случае из взаимодействующих преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса.

Структурная схема автоматического электромеханического привода, приведена на **рис. К.1**.



**Рис. К.1** Структурная схема автоматизированного электропривода

1. **Система управления электроприводом** технологическим процессом. Автоматический электромеханический привод условно можно разделить на два основных блока - система управления и силовая часть.

Система управления включает в себя:

2 **Управляющее устройство (электропривода)** предназначенное для формирования управляющих воздействий в электроприводе.

3 **Преобразователь электрической энергии** электротехническое устройство, преобразующее электрическую энергию с одними значениями параметров и/или показателей качества в электрическую энергию с другими значениями параметров и/или показателей качества. Преобразование параметров может осуществляться по роду тока, напряжению, частоте, число фаз, фазе напряжения.

4 **Датчики электрических и механических параметров** обратных связей

Силовой блок в свою очередь состоит из электрической и механической части.

**Преобразователь электрической энергии** относится как к системе управления так и к силовому блоку.

**5 Электродвигатель** (электропривода): электромеханический преобразователь, предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую. В некоторых режимах работы электропривода электродвигатель осуществляет обратное преобразование энергии.

**6 Механическая передача** (электропривода): механический преобразователь, предназначенный для передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительному органу рабочей машины и согласованию вида и скоростей их движения.

**7 Рабочий орган машины.**

**8 Технологический процесс.**

*С одной стороны* электропривод взаимодействует рабочим органом машины технологического процесса, с другой стороны *внешняя система управления электроприводом, которая* поставляет необходимую для функционирования электропривода информацию, и наконец, с *системой электроснабжения* или *источником электрической энергии*.

*Управляющее устройства* получает командные сигналы от *внешней системы управления*, а информацию о текущем состоянии электропривода – от датчиков обратных связей. С помощью этих датчиков ток, напряжение, мощность или другие его электрические параметры, скорость, момент или усилие и положение исполнительного органа, преобразуются в пропорциональные этим параметрам электрические сигналы, которые подаются в управляющее устройство. В нем текущее состояние электропривода сравниваются с заданным и при наличии рассогласования вырабатывается управляющий сигнал, воздействующий через преобразователь на электродвигатель в направлении устранения возникшего рассогласования с требуемой точностью и быстродействием.

### 3. Классификация электроприводов и их общая характеристика

В соответствии с ГОСТ Р 50369–92 электроприводы подразделяются по трем различным признакам: функциональному назначению, структуре и физическим принципам преобразования электрической энергии. (рис. 1.)

По функциональному назначению определено 22 группы. Выделим наиболее важные ее составляющие:

#### 1 По характеру движения исполнительных органов рабочих машин:

**вращательного, поступательного, возвратно-поступательного [вибрационное], непрерывного, дискретного движения; реверсивный и нереверсивный.**

**Многокоординатный:** Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины по двум или более пространственным координатам.

**Моментный:** Электропривод, обеспечивающий заданный момент или усилие на исполнительном органе рабочей машины.

**Позиционный и тд:** Электропривод, обеспечивающий перемещение и установку исполнительного органа рабочей машины в заданное положение.

**Многоскоростной:** Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины с любой из двух или более фиксированных скоростей.

**Согласованного движения:** Электропривод, обеспечивающий согласованное движение двух или более исполнительных органов рабочей машины.

**Регулируемый и нерегулируемый** приводы. Регулируемый привод обеспечивает управляемое изменение координат движения исполнительного органа рабочей машины.

#### 2 По характеру системы управления:

К этой группе относятся приводы с различной степенью автоматизации.

**Неавтоматизированный** – это привод, в котором все операции управления выполняет оператор.

**Автоматизированным** называется привод, в котором часть операций управления выполняют соответствующие устройства управления без участия оператора.

**Следящим** электропривод обеспечивает перемещение исполнительного органа рабочей машины в соответствии с произвольно изменяющимися задающими сигналами.

**Программно-управляющим и тд** называется электропривод, обеспечивающий перемещение исполнительного органа рабочей машины в соответствии с заданной программой.

**Адаптивный** - это электропривод с наиболее высоким уровнем автоматизации, он автоматически избирает параметры своей системы при изменении возмущающих устройств.

**Главный электропривод:** Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины, выполняющего главную технологическую операцию.

**Вспомогательный:** Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины, выполняющего вспомогательную технологическую операцию.

**С регулированием энергетических показателей:** Электропривод, работающий с заданным законом изменения одного или нескольких своих энергетических показателей

В соответствии с ГОСТом Структурное подразделение электроприводом выделено 19 групп, которые можно поделить на 2.

### 1 По соотношению между количеством двигателей и рабочих органов:

**Групповой электропривод:** Электропривод с одним электродвигателем, обеспечивающий движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины.

**Индивидуальный электропривод:** Электропривод, обеспечивающий движение одного исполнительного органа рабочей машины.

**Взаимосвязанный электропривод:** Два или несколько электрически или механических связанных между собой электроприводов, при работе которых поддерживается заданное соотношение их скоростей и/или нагрузок, и/или положения исполнительных органов рабочих машин.

**Многодвигательный электропривод:** Электропривод, содержащий несколько электродвигателей, механическая связь между которыми осуществляется через исполнительный орган рабочей машины.

### 2 По степени взаимосвязи отдельных элементов:

**Электрический вал:** Взаимосвязанный электропривод, обеспечивающий синхронное движение двух или более исполнительных органов рабочей машины, не имеющих механической связи.

**Редукторный [безредукторный]:** Электропривод, механическая передача которого содержит [не содержит] редуктор.

**Маховичный:** Электропривод вращательного движения, механическая передача которого содержит маховик.

**С разомкнутой [замкнутой] системой управления:** Электропривод, в котором отсутствует [имеется] обратная связь по регулируемой координате электропривода или по возмущению, воздействующая на управляющее устройство.

**Дифференциальный и тд:** Многодвигательный электропривод, у которого скорость и момент на исполнительном органе рабочей машины алгебраически суммируются с помощью механического дифференциала.

**Электрический каскад:** Регулируемый электропривод с асинхронным

двигателем с фазным ротором, в котором энергия скольжения возвращается в электрическую сеть.

**Электромеханический каскад:** Регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с фазным ротором, в котором энергия скольжения преобразуется в механическую и передается на вал этого двигателя.

**С общим суммирующим усилителем:** Регулируемый электропривод, в преобразовательном информационном устройстве которого сигналы управляющего воздействия и обратных связей по регулируемым координатам электропривода суммируются на одном общем усилителе.

**С подчиненным регулированием координат:** Регулируемый электропривод, в управляющем устройстве которого регуляторы по числу регулируемых координат электропривода соединяются последовательно, образуя систему замкнутых контуров регулирования, в которой выходной сигнал регулятора внешнего контура является входным сигналом регулятора внутреннего, подчиненного ему, контура.

**С общим преобразователем:** Электропривод, преобразователь электроэнергии которого питает два или несколько Двигателей.

**С диалоговым преобразователем:** Электропривод, выходные координаты преобразователя электроэнергии которого принимают любые значения от нуля до максимально допустимого.

**С релейным преобразователем:** Электропривод, выходные координаты преобразователя электроэнергии которого принимают два или три фиксированных значения.

**С импульсным преобразователем:** Электропривод, преобразователь электроэнергии которого периодически с регулируемой скважностью включает и отключает подводимое к электродвигателю напряжение или изменяет параметры электрической цепи двигателя.

**С инвертором тока [напряжения]:** Электропривод переменного тока, преобразователь электроэнергии которого содержит инвертор тока [напряжения].

**С источником тока:** Электропривод, преобразователь которого обладает свойствами источника тока.

**По физическим принципам** преобразования электрической энергии в механическую электроприводы подразделяются на электромашинные, электромагнитные, электростатические и пьезоэлектрические.

• **Электромашинный:** Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется электрическими машинами на основе взаимодействия электромагнитных полей и проводников с током.

- *Примером из этих типов электроприводов являются различного рода электродвигатели постоянного и переменного тока, вращательного и поступательного движения.*
  - **Электромагнитный:** Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется устройством на основе взаимодействия электромагнитного поля и ферромагнитных тел (*соленоиды, магнитные задвижки, контакторы и т.д.*)
  - **Электростатический:** Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется устройством на основе взаимодействия электростатического поля и электрических зарядов (*установки по сепарации семян различных культур в электростатическом поле*).
  - **Пьезоэлектрический [магнитострикционный]:** Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется устройствами на основе пьезоэлектрического [магнитострикционного] эффекта.
-

#### 4. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей. Понятие жесткости.

Назначение электропривода – приводить в движение рабочие машины и управлять этим движением. Правильное сочетание механических характеристик электропривода и рабочих машин – одно из неперенных условий надежной работы производственного агрегата.

Механической характеристикой рабочей машины или двигателя называют, зависимость между моментом и скоростью. **Рисунок!  $M=f(\omega)$ .**

Различные производственные механизмы обладают различными механическими характеристиками. Однако можно получить некоторые обобщающие выводы, если воспользоваться эмпирической формулой для механической характеристики производственного механизма.

$$M_c = M_o + (M_{c.n.} - M_o) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \quad (T.1)$$

где  $M_c$  – момент сопротивления механизма при скорости  $(\omega)$ ;  
 $M_o$  – момент сопротивления трения в движущихся частях механизма;  
 $M_{c.n.}$  – момент сопротивления при номинальной скорости  $(\omega_n)$ ;  
 $x$  – коэффициент, характеризующий изменение момента сопротивления при изменении скорости.

Для различных типов машин коэффициент  $x$  может быть положительным и отрицательным, целым и дробным числом.

Приведенная формула ориентировочно позволяет классифицировать механические характеристики производственных механизмов на следующие основные категории представленные на рис. 3:

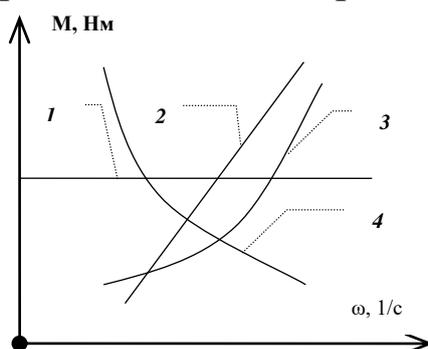


Рис 3. Механические характеристики рабочих машин (Т.2)

**1.** Механическая характеристика при моменте сопротивления, не зависящем от скорости (хар-ка № 1).

$$x=0 \quad M_c = M_{cH} = const. \quad P = M_c \omega$$

Потребная мощность любой машины выражается как  $P = M_c \omega$ , то, без учета момента сопротивления при трогании, можно установить зависимость потребной мощности каждого типа машин от угловой скорости.

сти. Для механизмов первой группы ( $x=0$ ,  $M_c = \text{const}$ ),  $P = M_c \omega$  – мощность пропорциональна скорости.

Такой характеристикой обладают: подъемные краны, лебедки, ленточные транспортеры, конвейеры, то есть машины, которые работают с постоянной нагрузкой. Сюда же могут быть отнесены с известным приближением все механизмы, у которых основным моментом сопротивления является момент трения, так как обычно в пределах рабочих скоростей момент трения изменяется мало.

**2. Линейно-возрастающая механическая характеристика (хар-ка № 2).**

$$X=1 \quad M_c = M_0 + \frac{(M_{\text{сн}} - M_0) \cdot \omega}{\omega_H} \quad P = M \omega^2$$

Для механизмов второй группы ( $x=1$ ,  $M_c = k\omega$ )  $P = M \omega^2$  – мощность пропорциональна квадрату скорости.

Примером подобных механизмов: генератор постоянного тока независимого возбуждения, работающий на постоянное внешнее сопротивление.

**3. Нелинейно-возрастающей (параболическая) механическая (хар-ка № 3).**

$$X=2 \quad M_c = M_0 + \frac{(M_{\text{сн}} - M_0) \cdot \omega^2}{\omega_H^2} \quad P = M \omega^3$$

Для механизмов третьей соответственно мощность пропорциональна кубу скорости.

Такой механической характеристикой обладают вентиляторы, центробежные насосы, сепараторы, гребные винты, молотильные барабаны и т.п. Эти характеристики принято называть вентиляторными.

**4. Нелинейно-спадающая механическая характеристика (хар-ка № 4)**

$$X=(-1) \quad M_c = M_0 + \frac{(M_{\text{сн}} - M_0) \cdot \omega_H}{\omega} \quad P = M \cdot \omega_H = \text{const}$$

Для механизмов четвертой групп мощность постоянная, не зависящая от скорости.

Таковыми механическими характеристиками обладают некоторые металлорежущие станки, колосовые элеваторы, зерновые норрии и др.

Приведенная классификация не исчерпывает всех возможных типов механических характеристик исполнительных органов так как кроме целых чисел показатель степени может иметь дробные, положительные и отрицательные значения.

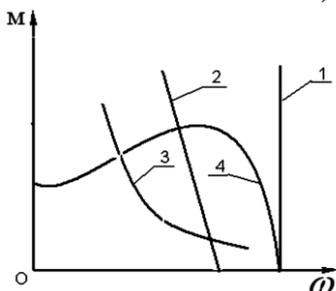
---

**В большинстве учебников по электроприводу под механической характеристикой подразумевается зависимость  $\omega=f(M)$ . Однако, зависимость  $M=f(\omega)$  более точно отвечает физическому смыслу явлений, протекающих в двигателе, позволяет отображать его механические характеристики при том же расположении координатных осей, что и механические характеристики рабочих машин.**

При изменении угловой скорости вала двигателя в обмотках ротора (якоря) изменяются э.д.с., токи, а у двигателей переменного тока частота и

коэффициент мощности. Все эти факторы зависят от скорости вала двигателя и оказывают влияние на величину вращающего момента, что и отражается в механической характеристике ( $M=f(\omega)$ ).

*Механические характеристики наиболее распространенных типов электродвигателей представлены на рис. М.6. (синхронного двигателя –1, ДПТ независимого и параллельного возбуждения –2, последовательного возбуждения –3 и асинхронного двигателя –4.)*



**Рис.6** Механическая характеристика электродвигателя (Т.4)

*Механические характеристики двигателей подразделяют на **естественные и искусственные**.*

Естественной механической характеристике, соответствует работа двигателя при номинальных параметрах питающего тока (напряжение, частота), отсутствии добавочных сопротивлений в цепях обмоток и нормальной схеме соединения.

Характеристики двигателя при изменении одного или нескольких из выше перечисленных факторов называются искусственными

*Они используются для регулирования, создания оптимальных условий при пусках, торможении и реверсировании.*

*Наряду с механическими характеристиками интерес представляет зависимость электромеханической или скоростной характеристикой двигателя  $I=f(\omega)$ .*

Электромеханической или скоростной характеристикой двигателя называют, измените тока от угловой скорости  $I=f(\omega)$ .

**Рассмотрим жесткость механических характеристик двигателя и рабочих машин.** Жесткость механических характеристик двигателя показывает, как изменяется момент двигателя при данной угловой скорости.

Из графиков механических характеристик (рис. 4) видно, что при одинаковом изменении угловой скорости в разных точках характеристик отношение приращений момента  $\Delta M$  к приращению угловой скорости  $\Delta \omega$  будет различным.

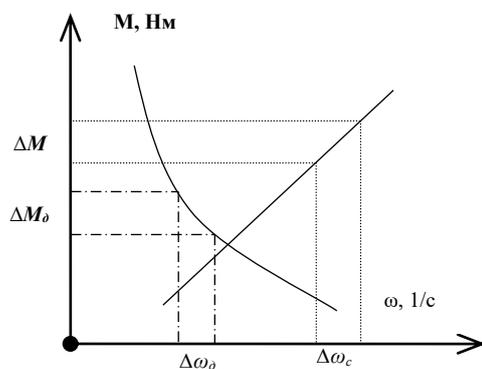


Рис. 4. (Т.5)

Пределы изменения момента, соответствующие определенному изменению скорости в данной точке механической характеристики, принято оценивать величиной, называемой коэффициентом жесткости или жесткостью механической характеристики в этой точке.

Под жесткостью механической характеристики электродвигателя  $\beta_d$  или рабочей машины  $\beta_c$  понимают отношение приращения момента к соответствующему приращению угловой скорости.

$$\beta_d = \frac{\Delta M_d}{\Delta \omega} \quad \text{и} \quad \beta_c = \frac{\Delta M_c}{\Delta \omega}$$

Если принять, что  $\Delta \omega \rightarrow 0$ , то пределы отношений в формуле выразятся как производная момента по угловой скорости.

$$\beta_d = \frac{dM_d}{d\omega} \quad \text{и} \quad \beta_c = \frac{dM_c}{d\omega}$$

Обычно на рабочих участках механические характеристики двигателей имеют отрицательную жесткость  $\beta_d < 0$ . Линейные механические характеристики обладают постоянной жесткостью. В случае нелинейных характеристик их жесткость не постоянна и определяется в каждой точке.

По величине жесткости механические характеристики электродвигателей разделяются на четыре основные категории:

**1. Абсолютно жесткая механическая характеристика ( $\beta_d = \infty$ )**—это характеристика, при которой угловая скорость с изменением момента остается неизменной. Такой характеристикой обладают синхронные двигатели. (кривая 1 на рис. 6)

**2. Жесткая механическая характеристика**—это характеристика, которая показывает, что при незначительном изменении угловой скорости, момент изменяется значительно. Жесткой механической характеристикой обладают двигатели постоянного тока с параллельным и независимым возбуждением при работе на естественной характеристике, асинхронные двигатели на рабочей ветви естественной характеристики (кривы 2 и 4 на рис.6,  $\beta_d = 10 \dots 40$ )

Для асинхронного двигателя жесткость в различных точках механической характеристики различна.

3. **Мягкая механическая характеристика отражает зависимость**, при которой значительным изменениям скорости соответствуют относительно малые изменения момента. *Такими свойствами обладают характеристики двигателей последовательного и смешанного возбуждения со значительным числом ампервитков последовательной обмотки (кривая 3 на рис. 6,  $\beta \leq 10$ ), а также двигатели постоянного тока при работе на искусственных механических характеристиках.*

4. **Абсолютно мягкая характеристика—это характеристика**, при которой изменение угловой скорости не сопровождается изменением вращающего момента. *Таким свойством обладает, например, механическая характеристика асинхронного двигателя в точке максимального момента (кривая 4 на рис. 6,  $\beta \leq 0$ ).*

## 5. Понятия, выводы уравнения и анализ статической устойчивости электропривода.

Одним из основных требований, предъявляемых к электродвигателю в любом приводе, является его способность преодолевать момент сопротивления рабочего органа при заданной скорости. Роль автоматического регулятора в электрическом двигателе выполняет ЭДС.

*В неэлектрических двигателях для поддержания скорости применяются специальные регуляторы, которые воздействуют на источник энергии с целью увеличить или уменьшить момент двигателя. Этим электродвигатель выгодно отличается от других типов двигателей.*

При нарушении равновесия моментов происходит изменение угловой скорости и пропорционально ЭДС, а вместе с ней тока и момента двигателя. Восстановление равновесия моментов может происходить по-разному в зависимости от того, насколько быстро происходит изменение возмущающих воздействий.

При быстром изменении, **сохранение равновесия моментов**, происходит за счет момента на валу электродвигателя и динамического момента, вызванного появлением значительных ускорений. В этом случае речь идет о **динамической устойчивости**.

Под **статической устойчивостью** электропривода понимают способность электродвигателя восстанавливать равновесие между моментами двигателя и рабочей машины при сравнительно медленном изменении возмущающих воздействий.

В электроприводе, не обладающем **статической** устойчивостью, не может быть и **динамической** устойчивости.

Условия, при которых обеспечивается статическая устойчивость электропривода, разберем на примере механических характеристик электродвигателя  $M_{дв}(\omega)$  и рабочей машины  $M_c(\omega)$  на рис. 6.

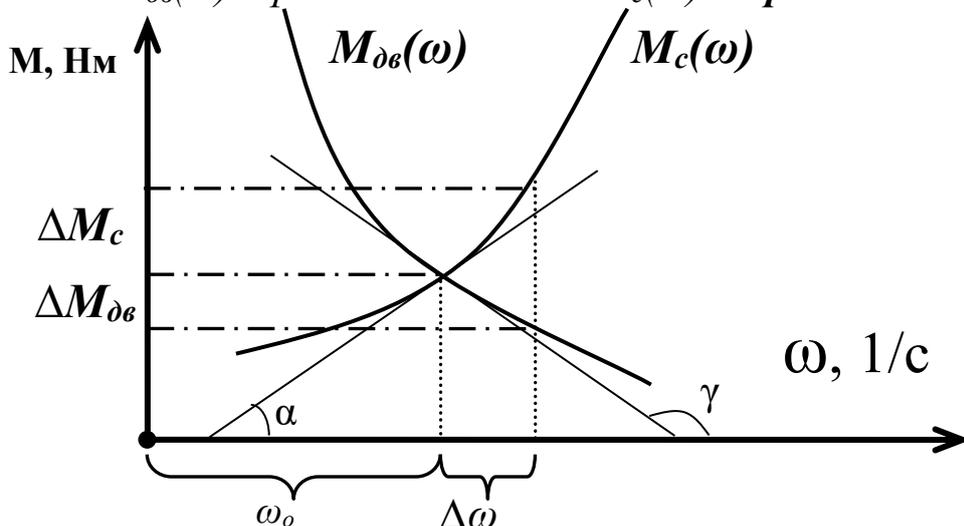


Рис. 6 К выводу критерия статической устойчивости (Т.6)

При угловой скорости  $\omega_0$  моменты двигателя  $M_{\partial}$  и рабочей машины  $M_c$  равны между собою и согласно основному уравнению движения ( $M_{\partial} - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$  (Т.7)) выполняется условие работы электропривода с постоянной скоростью, т.к. ускорение равно нулю. Если под действием каких-либо воздействий произойдет отклонение скорости на величину  $\Delta\omega$ , моменты получают приращения соответственно  $\Delta M_{\partial}$  и  $\Delta M_c$ . Тогда основное уравнение движения электропривода при постоянном моменте инерции для приращений моментов и скорости запишется в виде

$$\Delta M_{\partial} - \Delta M_c = J \frac{d(\Delta\omega)}{dt} \quad (\text{Т.7})$$

Здесь  $J$ —момент инерции электропривода.

Поскольку отклонение угловой скорости предполагается незначительным, соответствующие изменение механических характеристик с точностью до малых второго порядка, можно заменить соответствующими касательными в точке равновесия.

Выразим в моменты двигателя и рабочей машины через коэффициенты жесткости механических характеристик и приращение угловой скорости  $\Delta M_{\partial} = \beta_{\partial}(\Delta\omega)$  и  $\Delta M_c = \beta_c(\Delta\omega)$  (Т.7)

Подставив эти значения моментов в формулу и, вынося общий множитель за скобки, получим:

$$\Delta\omega \cdot (\beta_{\partial} - \beta_c) = J \frac{d(\Delta\omega)}{dt} \quad \text{или} \quad \frac{\beta_{\partial} - \beta_c}{J} dt = \frac{d(\Delta\omega)}{\Delta\omega} \quad (\text{Т.7})$$

Решением этого уравнения является

$$\Delta\omega = \Delta\omega_{нач} e^{\frac{\beta_{\partial} - \beta_c}{J} \cdot t} \quad \text{основание постоянного логарифма} \quad (\text{Т.7})$$

где  $\Delta\omega_{нач}$ —начальное отклонение угловой скорости.

Равновесие будет устойчивым в том случае, если начальное отклонение угловой скорости с течением временем уменьшается, а моменты двигателя и рабочей машины стремятся к своему равновесию. И наоборот, равновесие моментов при угловой скорости  $\omega_0$  не устойчиво, если первоначальное отклонение скорости со временем будет увеличиваться.

Условию устойчивости ( $\Delta\omega = \Delta\omega_{нач} e^{\frac{\beta_{\partial} - \beta_c}{J} \cdot t}$ ) отвечает соотношение  $\beta_c > \beta_{\partial}$ . Это условие принято называть критерием статической устойчивости электропривода. Таким образом, Электропривод статически устойчив, если коэффициент жесткости механической характеристики рабочего механизма в точке равновесия моментов больше коэффициента

жесткости механической характеристики двигателя. Поскольку жесткость механических характеристик выражается через соответствующие производные, условие статической устойчивости можно записать как  $\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \gamma$  (рис.6 Т.6).

Для оценки статической устойчивости электропривода в точке равновесия моментов не обязательно вычислять производные функций. Достаточно провести в этой точке касательные к кривым механических характеристик и сравнить величину соответствующих углов.

Условия статической устойчивости можно представить на примере электропривода с асинхронным электродвигателем и рабочими органами, имеющими различные механические характеристики (рис. 7 Т.8). Здесь  $M_{дв}$  – механическая характеристика асинхронного двигателя,  $M_{с2}$  – механическая характеристика подъемного механизма,  $M_{с1}$  и  $M_{с3}$  – механические характеристики центробежных вентиляторов с различными номинальными угловыми скоростями. В точках 1, 2, 3 и 4 моменты двигателя и моменты сопротивления равны, что, в общем, предполагает работу соответствующих механизмов с постоянной скоростью. Реально же равновесия моментов будут сохраняться лишь в тех равновесных точках, в которых коэффициенты жесткости механических характеристик рабочих органов больше коэффициентов жесткости механической характеристики электродвигателя. К статически устойчивым относятся равновесия в точках 1, 3 и 4. В точке 2 угол наклона касательной к линии  $M_{с2}$  равен нулю, а угол  $\alpha_2$  – острый; следовательно,  $\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \gamma$  и требование критерия устойчивости не выполняется.

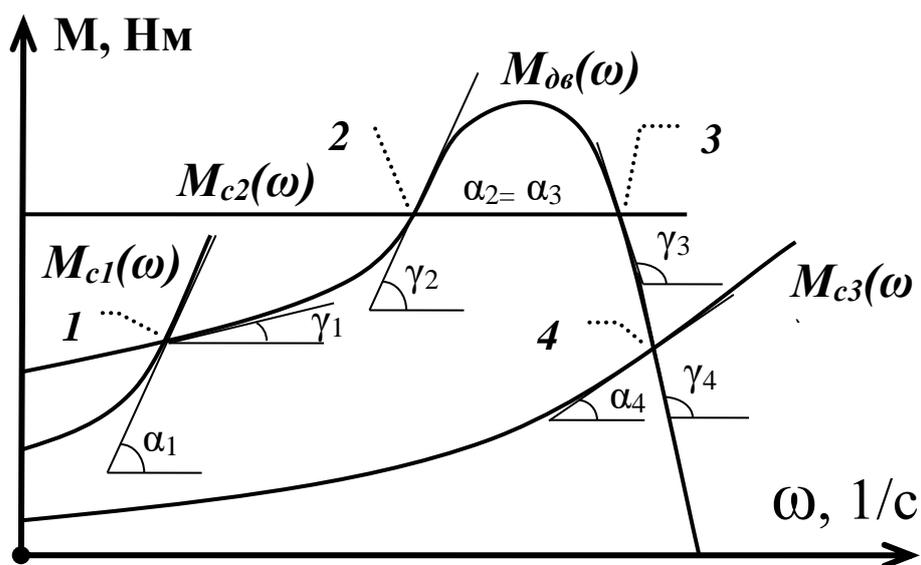


Рис.7 Анализ статической устойчивости электропривода

## 6. Система относительных единиц в теории электропривода.

Симоненко А.С. Основы электропривода

1.3. Относительные единицы в теории электропривода стр. 10.

При решении различных задач, связанных с расчетами электроприводом, при сопоставлении полученных результатов нередко приходится пользоваться не абсолютными значениями физических величин, а их относительными значениями. При рассмотрении, например, процесса пуска двух двигателей постоянного тока на различное номинальное напряжение сравнение абсолютных значений пусковых токов не позволяет сделать заключение о том, где условия пуска будут легче. Трудно составить представление о пусковых качествах, перегрузочной способности электродвигателей, выражая соответствующие вращающие моменты этих двигателей в абсолютных величинах. Пользуясь относительными величинами, представляется возможным вывести некоторые общие закономерности или свойства, или получить решения для двигателей данного типа всего ряда номинальных мощностей. Уравнения характеристик в относительных единицах в ряде случаев позволяют находить более простые или более наглядные решения задач, а сами эти уравнения становятся более простыми и универсальными.

Для получения относительных единиц абсолютное значение какой-либо величины принято делить на аналогичную величину, принятую условно за единицу или масштаб. Обычно в качестве таковой принимаются номинальные значения соответствующих величин.

Относительное напряжение:  $u = \frac{U}{U_n}$  или  $u\% = \frac{U}{U_n} 100$

где  $U$  и  $U_n$  – соответственно действительное и номинальное значения напряжений, В.

Относительный ток:  $i = \frac{I}{I_n}$  или  $i\% = \frac{I}{I_n} 100$

где  $I$  и  $I_n$  – соответственно действительное и номинальное значения силы тока, А.

Относительный момент:  $\mu = \frac{M}{M_n}$  или  $\mu\% = \frac{M}{M_n} 100$

В дальнейшем относительные моменты при пуске двигателей, максимальные, минимальные относительные моменты принято называть соответственно кратностями пусковых, максимальных и минимальных моментов.

Частота тока:  $\varphi = \frac{f}{f_n}$  или  $\varphi\% = \frac{f}{f_n} 100$

Относительная скорость:  $v = \frac{\omega}{\omega_n}$  или  $v\% = \frac{\omega}{\omega_n} 100$

где  $\omega$  и  $\omega_i$  – действительное и номинальное значения угловой скорости.

За масштаб относительной величины скорости принимают номинальную скорость только для двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением. Для двигателей независимого и параллельного возбуждения за масштаб скорости принимают скорость идеального холостого хода, а для синхронных и асинхронных двигателей – синхронную скорость, т.е. угловую скорость вращающегося магнитного поля  $\omega_0$ .

$$v = \frac{\omega}{\omega_0} \quad \text{или} \quad v\% = \frac{\omega}{\omega_0} 100$$

Степень отставания ротора от вращающегося магнитного поля у асинхронных электродвигателей, а также уменьшение скорости вала двигателей постоянного тока с независимым возбуждением по отношению к скорости идеального холостого хода при изменении нагрузки принято оценивать относительной величиной, называемой скольжением:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad s\% = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} 100 \quad s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - v \quad s\% = (1 - v)100$$

Относительное сопротивление:

$$\rho = \frac{R}{R_n} \quad \text{или} \quad \rho\% = \frac{R}{R_n} 100$$

где  $R$  и  $R_n$  – действительное и номинальное значения сопротивлений, Ом.

Под номинальным сопротивлением машин постоянного тока понимают сопротивление, обеспечивающее протекание номинального тока двигателя при номинальном напряжении сети и неподвижном якоре:

$$R_n = \frac{U_n}{I_n}$$

Под номинальным сопротивлением фазы обмотки ротора асинхронного двигателя понимают активное сопротивление, состоящее из активного сопротивления фазы и внешнего сопротивления, которое обусловит протекание номинального тока в обмотках неподвижного ротора при номинальных напряжении и частоте тока.

Для схемы соединения обмотки ротора в звезду

$$R_{2n} \approx Z_{2n} = \frac{E_{2n}}{\sqrt{3}I_{2n}}$$

Относительное сопротивление можно выразить через относительные значения напряжения и тока:

$$\rho = \frac{R}{R_n} = \frac{\frac{U}{I_n}}{\frac{U_n}{I_n}} = \frac{U}{U_n} = \frac{u}{i} \quad \text{или} \quad \rho\% = \frac{u\%}{i\%} 100$$