

Лекция 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.

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 электротехнологические 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, приведенная на **рис. К.1**.

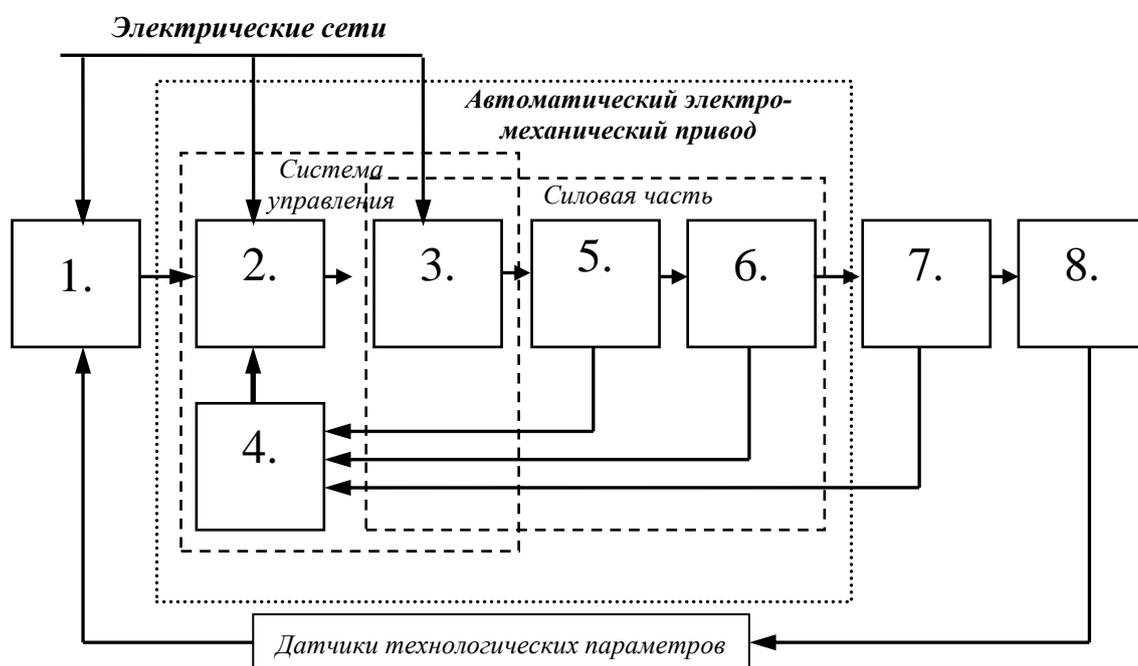


Рис. К.1 Структурная схема автоматизированного электропривода

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) предназначено 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, числу 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:

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: 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.

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 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 измене-

ние 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.

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 механически 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.

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: 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 неизменных условий надежной работы производственного агрегата.

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

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 (ω) ;
 M_o – момент сопротивления трения в движущихся частях механизма;
 $M_{c.n.}$ – момент сопротивления при номинальной скорости (ω_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:

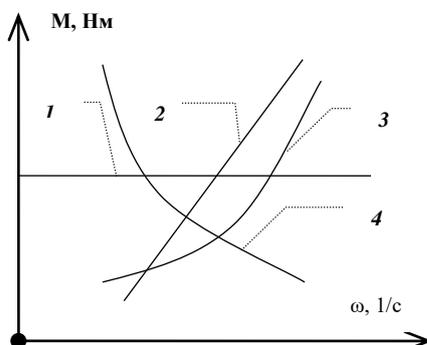


Рис 3. Механические характеристики рабочих машин (Т.2)

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

$$X=0 \quad M_c = M_{сн} = const. \quad P = M_{\bar{n}} \omega$$

Потребная мощность любой машины выражается как $P = M_{\bar{n}} \omega$, то, без учета момента сопротивления при трогании, можно установить зависимость потребной мощности каждого типа машин от угловой скорости. Для механизмов первой группы ($x=0, M_c = const$), $P = M_{\bar{n}} \omega$ — 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).

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

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).

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

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)

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

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.)

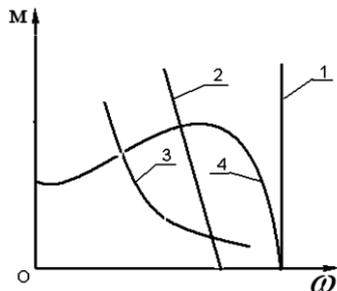


Рис.6 Механическая характеристика электродвигателя (Т.4)

*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 ΔM к приращению угловой скорости $\Delta \omega$ будет различным.

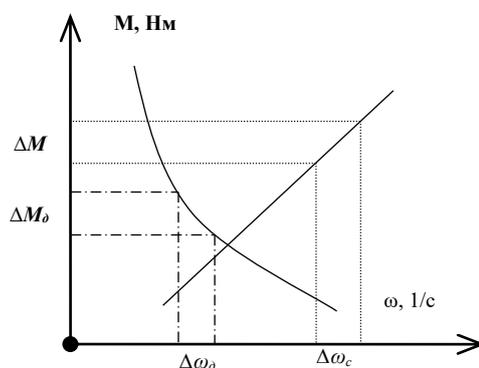


Рис. 4. (Т.5)

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 β_d или рабочей машины β_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.

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

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. 4)

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 (кривые 2 и 4 на рис. 4, $\beta_d = 10 \dots 40$)

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. 4, $\beta_d \leq 10$), 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. 4, $\beta_d \leq 0$).

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.

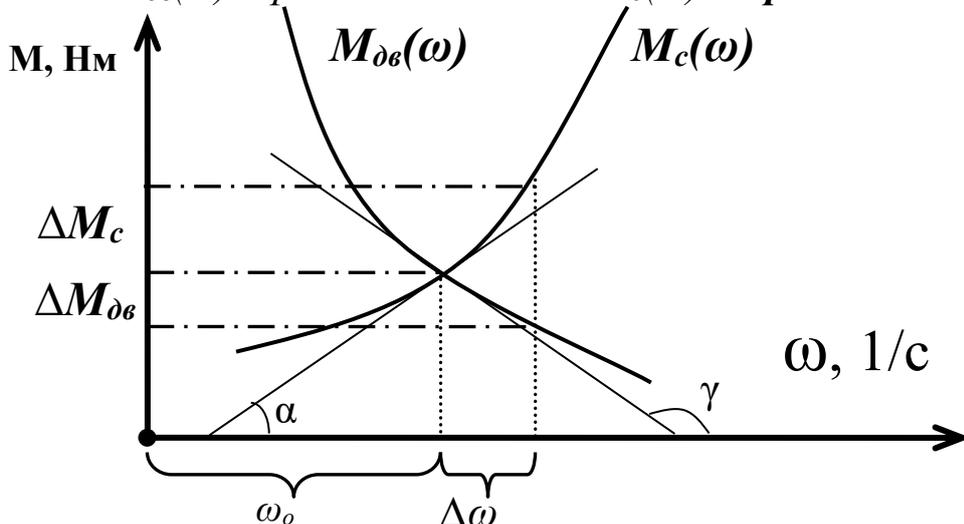


Рис. 6 К выводу критерия статической устойчивости (Т.6)

При угловой скорости ω_0 моменты двигателя $M_{дв}$ и рабочей машины M_c равны между собой и согласно основному уравнению движения ($\dot{I}_{\ddot{a}a} - \dot{I}_{\ddot{n}} = J \frac{d\omega}{dt}$ (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 получат приращения соответственно $\Delta M_{дв}$ и ΔM_c . Тогда основное уравнение движения электропривода при постоянном моменте инерции для приращений моментов и скорости запишется в виде

$$\Delta \dot{I}_{\ddot{a}a} - \Delta \dot{I}_{\ddot{n}} = J \frac{d(\Delta\omega)}{dt} \quad (\text{T.7})$$

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

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

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

Решением этого уравнения является

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

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 ω_0 не устойчиво, если первоначальное отклонение скорости со временем будет увеличиваться.

Условию устойчивости ($\Delta\omega = \Delta\omega_{нач} e^{\frac{\beta_{дв} - \beta_c}{J} \cdot t}$) отвечает соотношение $\beta_c > \beta_{дв}$. 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 α_2 – острый; следовательно, $\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \gamma$ и требование критерия устойчивости не выполняется.

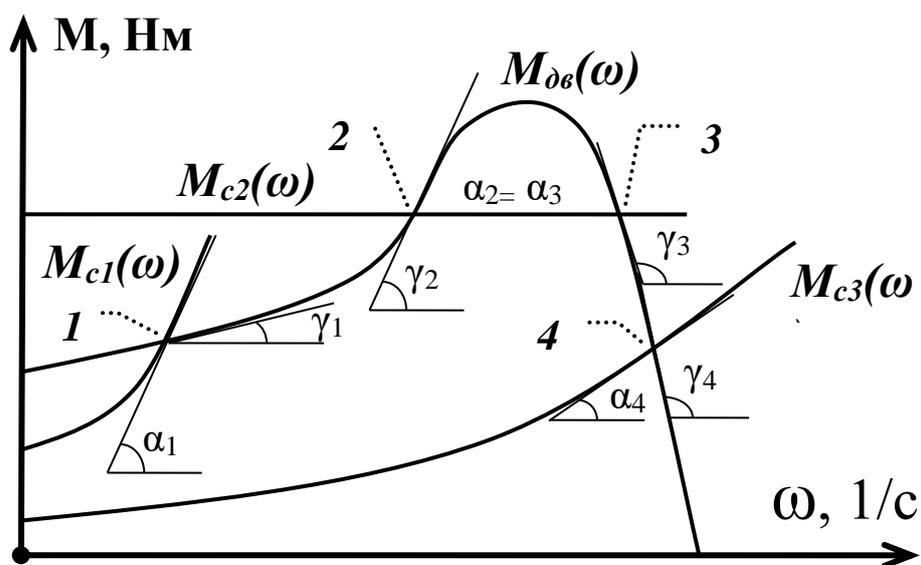


Рис.7 Анализ статической устойчивости электропривода

5. 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 электропривода, 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 ω и ω_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 ω_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:

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