

Основы электропривода и электротехнологии в сельскохозяйственном производстве

1. Общие сведения об электроприводе.
2. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей. Понятие жесткости.
3. Понятия, выводы уравнения и анализ статической устойчивости электропривода.
4. Система относительных единиц в теории электропривода.
5. Основные правила составления электрических схем электрооборудования.

1. Общие сведения об электроприводе.

Для того чтобы понять, что такое привод, представим в виде структурной схемы производственный агрегат, или машинное устройство (рис. 1.1).

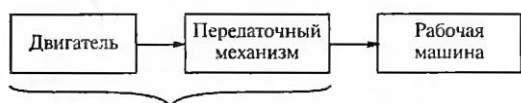


Рис. 1.1. Структурная схема производственного агрегата

В качестве двигателя используют устройство, преобразующее энергию ветра, воды, пара, двигателя внутреннего сгорания и т. д. Если используют электрический двигатель, то имеет место электрический привод.

Передаточный механизм, предназначенный для передачи движения от двигателя к рабочей машине, выполняют в виде валов, шкивов, ременной передачи, зубчатых колес, муфт и т. д.

***Привод** - это часть производственного механизма, который создает и передает движение к рабочей машине.*

Но почему именно электрический привод?

Электрическая энергия имеет преимущества перед другими видами энергии:

- наиболее универсальная энергия, легко преобразуется в другие виды: механическую, тепловую, химическую, лучистую энергию;
- возможность передавать ее на большие расстояния с малыми потерями;
- высокая плотность технологического оборудования;
- экологическая чистота при преобразования в другие виды энергии и т.д..

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 основном используются простые нерегулируемые механизмы, такие как вентиляторы, насосы и дробилки кормов т.д.. 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 преобразователями энергии, выполняющими различные функции управления, в том числе регулирование скорости, автоматическую защиту и самодиагностику.

2. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей. Понятие жесткости.

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.

$$M_c = M_o + (M_{c.n.} - M_o) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \quad (1.1.1)$$

где M_c – момент сопротивления механизма при заданной 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. 2:

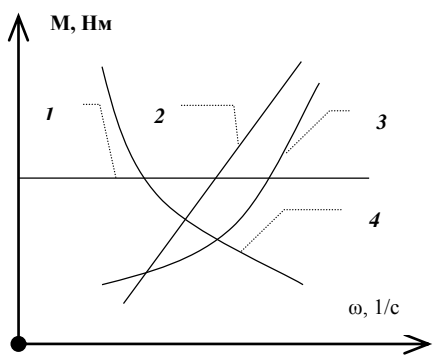


Рис 2. Механические характеристики рабочих машин (1.2)

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

$$x=0 \quad M_c = M_{c.n.} = const.$$

$$P = M_c \omega$$

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. Для механизмов первой группы ($x=0, M_c = const$), $P = M_c \omega$ – 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).

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

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)

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

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 двигателей электрические параметры, которые 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.)

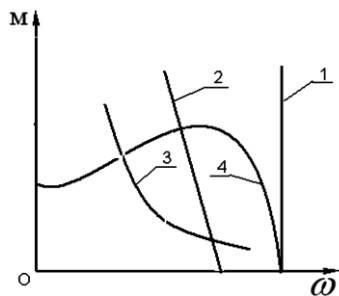


Рис. 1.6 Механическая характеристика электродвигателя (Т.4)

*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

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. 1.7) видно, что при одинаковом изменении угловой скорости в разных точках характеристик отношение приращений момента ΔM к приращению угловой скорости $\Delta \omega$ будет различным.

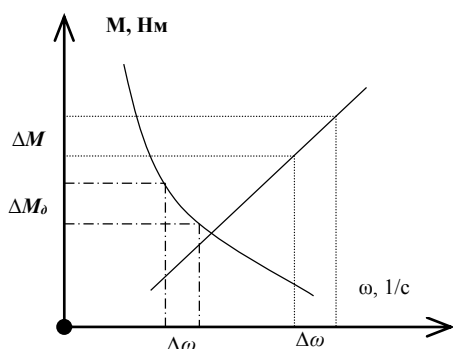


Рис. 4. (Т.5)

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.

$$\beta_a = \frac{\Delta M_a}{\Delta \omega} \quad \text{и} \quad \beta_c = \frac{\Delta M_c}{\Delta \omega}$$

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

$$\beta_a = \frac{\partial M_a}{\partial \omega} \quad \text{и} \quad \beta_c = \frac{\partial M_c}{\partial \omega}$$

Обычно на рабочих участках механические характеристики двигателей имеют отрицательную жесткость $\beta_{\delta} < 0$. 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 ($\beta_{\delta} = \infty$)— это характеристика, при которой угловая скорость с изменением момента остается неизменной. Такой характеристикой обладают синхронные двигатели. (кривая 1 на рис. 1.6)

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 (кривые 2 и 4 на рис. 1.6, $\beta_{\delta} = 10 \dots 40$)

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. 1.6, $\beta_{\delta} \leq 10$), 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. 1.6, $\beta_{\delta} \leq 0$).

3. 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. 1.6**.

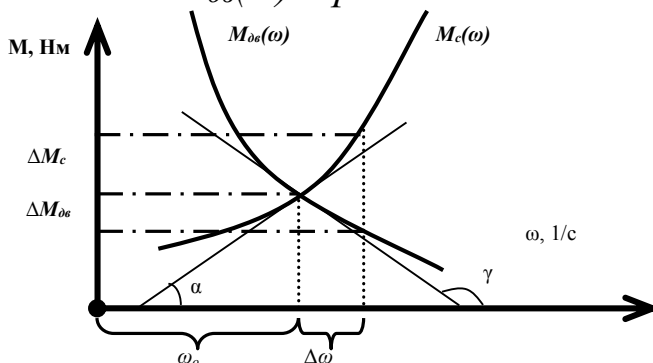


Рис. 1.6 К выводу критерия статической устойчивости (Т.6)

При угловой скорости ω_0 моменты двигателя $M_{дв}$ и рабочей машины M_c равны между собой и согласно основному уравнению

$$\text{движения } (M_{дв} - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1.7))$$

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

$$\Delta M_o - \Delta M_c = J \frac{d(\Delta\omega)}{dt} \quad (1.7)$$

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

$$\Delta M_o = \beta_o(\Delta\omega) \quad \text{и} \quad \Delta M_c = \beta_c(\Delta\omega) \quad (1.7)$$

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

$$\Delta\omega \cdot (\beta_o - \beta_c) = J \frac{d(\Delta\omega)}{dt} \quad \text{или} \quad \frac{\beta_o - \beta_c}{J} dt = \frac{d(\Delta\omega)}{\Delta\omega} \quad (1.7)$$

Решением этого уравнения является

$$\Delta\omega = \Delta\omega_{нач} e^{\frac{\beta_o - \beta_c}{J} \cdot t} \quad \text{основание постоянного логарифма} \quad (1.7)$$

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 стремиться к своему равновесию. И на оборот, равновесие моментов при угловой скорости ω_o не устойчиво, если первоначальное отклонение скорости со временем будет увеличиваться.

Условию устойчивости ($\Delta\omega = \Delta\omega_{нач} e^{\frac{\beta_o - \beta_c}{J} \cdot t}$) отвечает соотношение $\beta_c > \beta_o$ 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 $tg\alpha > tg\gamma$ (рис.1.6).

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.

4. Система относительных единиц в теории электропривода

При решении различных задач, связанных с расчетами электропривода, при сопоставлении полученных результатов нередко приходится пользоваться не абсолютными значениями физических величин, а их относительными значениями. *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.* 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, взятую 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 – соответ-

ственно действительное и номинальное значения силы тока, А.

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

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_n –

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 .

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

5. Основные правила составления электрических схем электрооборудования.

При проектировании, монтаже электрического привода выполняют различные схемы с соблюдением следующих требований:

- каждый электрический аппарат и все его элементы (катушки, контакты и т. д.) имеют условное графическое и буквенное обозначения. При начертании контактов электрических аппаратов исходят из того, что катушки обесточены и отсутствует механическое воздействие на контактную систему коммутационных аппаратов;
- выделяют цепи - главные и вспомогательные. Первые вычерчивают утолщенными линиями (силовые цепи двигателей и генераторов), вторые - тонкими. К ним относят цепи управления, сигнализации, защиты и блокировки. По назначению схемы подразделяют на:

принципиальные, на которых изображают элементы всех аппаратов и электрических машин с расположением в порядке, удобном для чтения, а не по их пространственному размещению;

монтажные, на которых показывают разводку силовых проводов и вспомогательных цепей с указанием их площади сечения, марок и способов прокладки. В монтажных схемах отдельные аппараты, элементы располагают в соответствии с их действительным размещением, разрабатывают на базе принципиальной электрической схемы;

схемы внешних соединений, на которых показывают соединения панелей с двигателем и выносными аппаратами управления.