



ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение закономерностей работы электрических приводов требует умения применять полученные теоретические знания на практике с учетом требований технологического режима к диапазону и плавности регулирования координат электропривода (скорости, тока, момента). Это приводит к необходимости изучения способов регулирования электропривода, методов расчета мощности электродвигателя, выбору его типа и исполнения, учитывая особенности производственной среды и условия эксплуатации рабочей машины; проверки электродвигателя по перегрузочной способности и полному использованию по нагреву; определению энергетических показателей электропривода.

Необходимые сведения приведены в предлагаемом учебном пособии, подготовленном для студентов, обучающихся по направлению «Агроинженерия», профилю «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». Учебное издание будет также полезно для студентов электротехнических специальностей, изучающих электрический привод.

В введении излагается содержание учебного материала пособия, даются методические рекомендации по самостоятельному решению задач и использованию приведенных примеров решения, а также последовательному переходу от задач первой категории сложности к задачам повышенной сложности.

В первой главе представлены краткие теоретические материалы по приведению параметров механической части электропривода к расчетной схеме; по расчету и анализу динамического режима электропривода.

Вторая глава посвящена расчету механических и электромеханических характеристик электроприводов постоянного тока в двигательном и тормозном режимах; изложены краткие теоретические сведения по данным вопросам, приведены примеры решения задач разных уровней сложности.

В третьей главе приведены основные теоретические положения с примерами расчета и построения механических и электромеханических характеристик двигателей переменного тока разных уровней сложности.

Четвертая глава включает сведения о расчете механических, электромагнитных и электромеханических переходных процессов в электроприводе. В главе приведены краткие теоретические сведения о методах расчета указанных переходных процессов, примеры решения задач разных уровней сложности по определению динамических свойств электроприводов.

В пятой главе рассмотрены методики расчета и выбора мощности, типа и исполнения электродвигателя, учитывающие особенности режима работы исполнительного органа рабочей машины и условия работы электродвигателя; проверки двигателя по нагреву и перегрузочной способности. Даны примеры расчета мощности и проверки выбранного электродвигателя в задачах разных уровней сложности.

Шестая глава знакомит с методами расчета энергетических показателей электроприводов постоянного и переменного тока в установившемся и динамическом режимах; содержит краткие теоретические сведения, примеры расчета задач разных уровней сложности.

В заключении даются рекомендации по дальнейшему изучению методов расчета и анализа функционирования электрических приводов.

Кроме того, каждая глава содержит контрольные вопросы и задания, после ответов на которые можно приступить к непосредственному освоению методики решения задач по электрическому приводу.

Внимательного изучения материалов учебного пособия достаточно для получения практических навыков решения задач по дисциплине. Однако при самостоятельной работе с учебным пособием рекомендуется обращаться к общедоступной справочной и учебной литературе для выяснения или уточнения новых терминов, понятий и определений.

ВВЕДЕНИЕ

Цель учебного пособия — подготовить студентов к практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении учебной дисциплины «Электропривод», развить навыки расчета электроприводов с учетом особенностей режимов эксплуатации производственных механизмов.

После изучения методов расчета необходимо уметь:

- 1) приводить параметры кинематической схемы и действующие в ней моменты и усилия к расчетной схеме;
- 2) формировать динамические режимы работы механической части электропривода;
- 3) рассчитывать механические и электромеханические характеристики двигателей постоянного и переменного тока;
- 4) рассчитывать в электроприводах механические, электромагнитные и электромеханические переходные процессы;
- 5) рассчитывать мощность электродвигателя для стандартных режимов работы электропривода и проверять выбранный двигатель по нагреву и перегрузочной способности;
- 6) рассчитывать энергетические показатели электропривода в установившемся и динамическом режимах работы.

Методические рекомендации: материал учебного пособия целесообразно изучать по разделам последовательно. После усвоения кратких теоретических сведений студенту

необходимо ответить на контрольные вопросы, помещенные в конце раздела. При успешных ответах на все контрольные вопросы следует перейти к ознакомлению с методами решения задач трех уровней сложности, относящихся к изучаемому разделу.

В примерах решения задач I уровня сложности дана методика выбора правильного ответа из предложенного набора вариантов на базе основных физических законов. Как правило, здесь не требуется выполнения математических расчетов.

Для задач II уровня сложности предлагаются методы решения заданий повышенной трудности, требующих вычисления значения искомого параметра с последующим сравнением полученного результата с вариантами ответа.

В задачах III уровня сложности (без описания решения) студенту потребуется по изложенным способам решения подобных заданий самостоятельно вычислить и обосновать полученный результат.

В такой последовательности проверяются практические навыки применения полученных знаний при решении конкретных задач.

Задачи I и II уровней сложности рекомендуются для решения студентам, обучающимся на степень бакалавра.

Задачи III уровня сложности рекомендуются для решения студентам, обучающимся на степень магистра.

Студентам, обучающимся для получения квалификации «инженер», рекомендуется получить навыки решения задач всех трех уровней сложности.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Современная цивилизация немыслима без использования электрического привода в промышленности, транспорте, сельском хозяйстве, быту. Практически две трети вырабатываемой электроэнергии преобразуется в механическую энергию электродвигателями, которые приводят в движение различные станки и механизмы. Таким образом, электрический привод играет большую роль в реализации задач повышения производительности труда в разных отраслях народного хозяйства, автоматизации и комплексной механизации производственных процессов, поскольку главной функцией электропривода является приведение в движение исполнительных органов рабочей машины в соответствии с требованиями технологического режима. Конструкции рабочих машин отличаются большим разнообразием и различными действующими в них усилиями и моментами, поэтому необходимо иметь практические навыки по приведению реальных кинематических схем к расчетным.

Цель главы — ознакомить учащихся с правилами преобразования кинематических схем разнообразных рабочих механизмов в расчетные схемы, приведением действующих в них нагрузок к валу двигателя, анализом динамических свойств электропривода по уравнению движения.

После изучения главы необходимо знать:

- 1) схему механической части электропривода;
- 2) характер действующих в механизмах усилий и моментов;

3) классификацию рабочих механизмов по виду зависимости статического момента;

4) правила преобразования кинематических схем механической части электропривода в расчетные схемы и их начертания;

5) способы формирования по расчетным схемам уравнения движения электропривода.

После изучения главы необходимо уметь:

1) определять характер действующих в механизмах усилий и моментов, их связь с механическими характеристиками механизмов;

2) рассчитывать и строить механические характеристики для различных групп рабочих механизмов;

3) преобразовывать кинематические схемы механической части электропривода в расчетные схемы;

4) формировать характер движения электропривода.

1.1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Приведение в движение исполнительных органов рабочей машины в соответствии с требованиями технологического режима совершается механической частью электропривода (МЧЭП), в состав которой входит ротор электродвигателя, передаточное устройство (ПУ) и исполнительный орган (ИО) рабочей машины (РМ). Схема механической части электропривода приведена на рис. 1.1.

В зависимости от вида передачи и конструкции рабочей машины на выходе механической части возможно вращательное и поступательное движение. Для первого варианта выходные параметры таковы: момент исполнительного органа рабочей машины (механизма) $M_{\text{ио}}$ и угловая скорость вращения $\omega_{\text{ио}}$; для поступательного движения выходные параметры — усилие $F_{\text{ио}}$ и линейная скорость $v_{\text{ио}}$. Передаточное устройство позволяет согласовать скорости и формы движения рабочей машины и электродвигателя, в качестве «ПУ» в электроприводе применяются редукторы, соединительные муфты, клиновременные передачи.

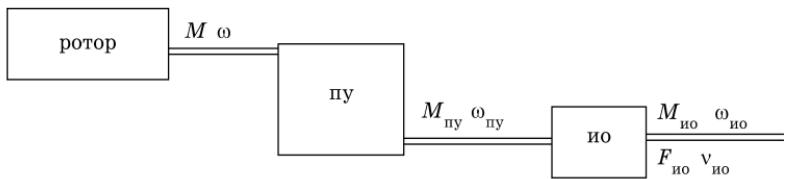


Рис. 1.1
Схема механической части электропривода:

пу — передаточное устройство, ио — исполнительный орган рабочей машины; M , $M_{\text{пу}}$, $M_{\text{ио}}$ — моменты на валу двигателя, передаточного устройства, исполнительного органа; ω , $\omega_{\text{пу}}$, $\omega_{\text{ио}}$ — угловые скорости вращения вала двигателя, передаточного устройства, исполнительного органа; $F_{\text{ио}}$, $v_{\text{ио}}$ — усилие и линейная скорость исполнительного органа.

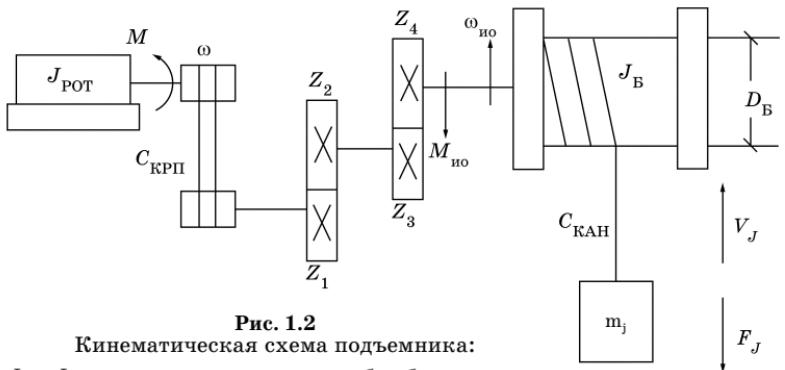


Рис. 1.2
Кинематическая схема подъемника:

$J_{\text{пот}}$, J_B — моменты инерции ротора, барабана; ω , $\omega_{\text{ио}}$ — угловые скорости ротора, барабана (исполнительного органа); $C_{\text{КРП}}$, $C_{\text{КАН}}$ — жесткости упругой деформации клиновременной передачи, каната; Z_1 — Z_4 — зубчатые шестерни редуктора; $M_{\text{ио}}$ — момент на валу барабана; D_B — диаметр барабана; m_j — масса груза; V_J — линейная скорость перемещения массы груза; F_J — усилие, развиваемое грузом.

Исследовать свойства электропривода по приведенной схеме (рис. 1.1) невозможно. Для этого служит кинематическая схема электропривода, дающая непосредственное представление о движущихся массах установки и механических связях между ними. Несмотря на многообразие механизмов и способов соединения их с двигателями, общие принципы построения кинематических схем сохраняются. На рис. 1.2 приведена кинематическая схема подъемника.

В состав наиболее общей кинематической схемы механической части электропривода (рис. 1.2) входят:

1) *ротор двигателя*, вращающийся с угловой скоростью ω ;

2) клиноременная передача (КРП);

3) зубчатая передача (Z_1-Z_4);

4) барабан B (исполнительный орган), преобразующий вращательное движение $\omega_{\text{но}}$ в поступательное с линейной скоростью v_j .

Из рис. 1.2 видно, что в общем случае механическая часть электропривода представляет собой многомассовую упругую механическую систему, в которой массы движутся с разными скоростями — как вращательными, так и поступательными. Это затрудняет количественную оценку влияния каждой массы или момента на работу механической части электропривода. Необходима *базовая величина*, которая дает возможность сравнить между собой параметры механической части. В качестве такой базовой величины принимается в большинстве случаев скорость электродвигателя, хотя для ряда задач бывает удобным выбрать скорость движения рабочего механизма. Используя базовую скорость и правила приведения, можно перейти от реальной кинематической схемы к расчетной схеме.

1.1.1.

ПРИВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ К РАСЧЕТНОЙ СХЕМЕ

В формулах приведения параметров кинематической схемы к расчетной индекс i относится к элементам с вращательной формой движения и индекс j — к элементам с поступательной формой движения.

ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ И МАСС

Для *вращательного движения* закон сохранения энергии в случае приведения угловой скорости ω_i i -го элемента к угловой скорости двигателя ω_1 можно записать как

$$J_{\text{пп}i} \frac{\omega_1^2}{2} = J_i \frac{\omega_i^2}{2}, \quad (1.1)$$

тогда получим формулу приведения:

$$J_{\text{пп}i} = J_i \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 = \frac{J_i}{i_{1i}^2}, \quad (1.2)$$

где $J_{\text{пр}i}$ — приведенный момент инерции i -го элемента, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $i_{1i} = \omega_1/\omega_i$ — передаточное число от вала двигателя (цифра 1) к i -му валу установки.

Для поступательно движущихся масс закон сохранения энергии примет вид

$$J_{\text{пр}j} \frac{\omega_1^2}{2} = m_j \frac{v_j^2}{2}, \quad (1.3)$$

тогда имеем выражение для приведенного момента инерции:

$$J_{\text{пр}j} = m_j \left(\frac{v_j}{\omega_1} \right)^2 = m_j \rho_{1j}^2, \quad (1.4)$$

где ρ_{1j} — радиус приведения j -го поступательно движущегося элемента, м; m_j — масса j -го поступательно движущегося элемента, кг; ω_1 — угловая скорость двигателя, рад/с.

ПРИВЕДЕНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Поскольку реальные механические связи обладают конечными значениями упругой деформации, необходимо их также приводить к базовой скорости.

Для вращательного движения можно воспользоваться выражением передаточного отношения:

$$i_{1i} = \frac{\omega_1}{\omega_i} = \frac{d\phi_1}{d\phi_i}, \quad (1.5)$$

где i_{1i} — передаточное число от вала двигателя к i -му валу установки; ω_1 и ω_i — угловые скорости вращения вала двигателя и i -го вала установки, рад/с; ϕ_1 и ϕ_i — углы поворота вала двигателя и i -го вала установки, рад.

При $i_{1i} = \text{const}$ имеется возможность перейти к конечным приращениям $\Delta\phi_i$, $\Delta\phi_{\text{пр}1i}$, $\Delta\phi_{\text{пр}1j}$. Угловая деформация $\Delta\phi_i$ появляется при действии момента M_i , а при его отсутствии угловая деформация $\Delta\phi_i = 0$.

Для линейных перемещений целесообразно применить формулу радиуса приведения:

$$\rho_{1j} = \frac{v_j}{\omega} = \frac{dS_j}{d\phi}. \quad (1.6)$$

При $\rho_{1j} = \text{const}$ ρ_{1j} можно перейти к приращениям $\rho_{1j} = \Delta S_j / \Delta \varphi$, тогда приведенное значение линейной деформации к валу двигателя равно

$$\Delta\varphi_{\text{пп1}j} = \Delta S_j / \rho_{1j}, \quad (1.7)$$

где ΔS_j — линейная деформация j -го упругого элемента, м.

ПРИВЕДЕНИЕ ЖЕСТКОСТЕЙ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ

При деформации упругих связей запасается *потенциальная энергия*. Для *упругих угловых деформаций* потенциальная энергия равна

$$W_{ni} = \frac{C_i \Delta\varphi_i^2}{2}, \quad (1.8)$$

где C_i — жесткость упругой деформации i -го упругого элемента, Н·м/рад.

В случае приведения жесткостей упругих связей C_i к валу двигателя следует соблюсти равенство потенциальных энергий:

$$C_{\text{пп1}i} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{пп1}i}^2}{2} = \frac{C_i \Delta\varphi_i^2}{2}. \quad (1.9)$$

Тогда приведенное значение жесткости $C_{\text{пп1}i}$ равно

$$C_{\text{пп1}i} = C_i \cdot \left(\frac{\Delta\varphi_i}{\Delta\varphi_{\text{пп1}i}} \right)^2 = \frac{C_i}{i_{1i}^2}. \quad (1.10)$$

При упругих линейных деформациях потенциальная энергия равна

$$W_{nj} = \frac{C_j \Delta S_j^2}{2}.$$

И в случаях приведения жесткости j -го элемента C_j к валу двигателя можно записать равенство

$$C_{\text{пп1}j} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{пп1}j}^2}{2} = \frac{C_j \Delta S_j^2}{2}.$$

Отсюда уравнение приведения жесткости к валу двигателя принимает вид

$$C_{\text{пп1}j} = C_j \cdot \left(\frac{\Delta S_j}{\Delta\varphi_{\text{пп1}j}} \right)^2 = C_j \cdot \rho_{1j}^2, \quad (1.11)$$

поскольку $\Delta\varphi_{\text{пп1}j} = \Delta S_j / \rho_{1j}$.

1.1.2. ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ И УСИЛИЙ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

В механической части электропривода (ЭП) действуют различные виды усилий, моментов, отличающиеся характером действия.

Различают *реактивные* $M_{\text{р.ио}}$ и *активные* $M_{\text{а.ио}}$ моменты, создаваемые усилиями в исполнительных органах механизмов.

Реактивные моменты создаются силой трения, а также силами сжатия, растяжения, кручения неупругих тел. Классическим примером здесь может служить сухое трение. Силы трения всегда противодействуют движению и при реверсе электропривода момент трения, обусловленный этими силами, также меняет направление, а функция $M_{\text{ио}}(\omega)$, называемая механической характеристикой исполнительного органа механизма, при скорости $\omega = 0$ претерпевает разрыв (рис. 1.3а). Силы трения проявляются в передачах электродвигателя, рабочих машин.

Активные (потенциальные) моменты создаются силой тяжести, силами сжатия, растяжения, кручения *упругих тел*. В механической части ЭП активные моменты возникают в нагруженных элементах (валы, зубчатые

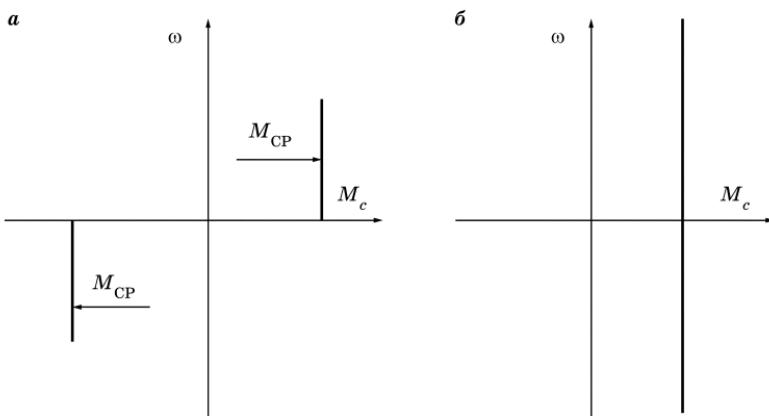


Рис. 1.3.
Механические характеристики рабочих машин
с реактивным (а) и активным (б) статическими моментами

запеления и т. п.) при их деформации, поскольку механические связи не являются абсолютно жесткими.

Особенности действия потенциальных моментов наглядно проявляются на примере силы тяжести. При подъеме или спуске груза направление силы тяжести F_j остается постоянным, иными словами, при реверсе электропривода направление активного момента сохраняется неизменным (см. рис. 1.3б).

Краткий анализ видов действующих в электроприводе моментов показывает, что между реактивными и активными моментами имеется существенное отличие: *реактивный момент с изменением направления движения также меняет свое направление, активный же момент сохраняет его постоянным*.

Приведение полезных моментов и усилий (без учета потерь в механической передаче) выполняется из условия равенства элементарной работы момента M_i или усилия F_j в кинематической и расчетной схемах по следующим формулам:

$$M_i \cdot \Delta\varphi_i = M_{\text{пр}1i} \cdot \Delta\varphi_{\text{пр}1i}; \quad (1.12)$$

$$F_j \cdot \Delta S_j = M_{\text{пр}1j} \cdot \Delta\varphi_{\text{пр}1j}. \quad (1.13)$$

Из соотношений (1.12) и (1.13) находим *приведенные моменты*:

1) для вращательного движения:

$$M_{\text{пр}1i} = M_i \cdot (\Delta\varphi_i / \Delta\varphi_{\text{пр}1i}) = M_i / i_{1i}; \quad (1.14)$$

2) для поступательного движения:

$$M_{\text{пр}1j} = F_j \cdot (\Delta S_j / \Delta\varphi_{\text{пр}1j}) = F_j \cdot \rho_{1j}. \quad (1.15)$$

Подобные зависимости можно получить из равенства мощностей:

$$M_i \cdot \omega_i = M_{\text{пр}1i} \cdot \omega; \quad F_j \cdot v_j = M_{\text{пр}1j} \cdot \omega.$$

Рассмотренные правила приведения моментов и усилий не учитывают потери в кинематической цепи, поэтому не позволяют рассчитать *статический момент* M_C на валу двигателя, поскольку для его определения необходимо знать *направление потока энергии*.

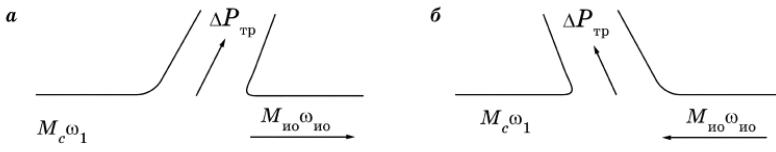


Рис. 1.4

Направления потоков энергии в электроприводе:

a — при прямом потоке мощности (подъем груза); *б* — при обратном потоке мощности (спуск груза).

Если энергия направлена от двигателя к рабочей машине, то говорят о *прямом направлении потока энергии* (рис. 1.4*a*). Когда же поток энергии направлен по кинематической цепи в сторону двигателя, имеют дело с *обратным направлением потока энергии* (рис. 1.4*б*). Потери на трение в механизме $\Delta P_{\text{тр}}$ учитываются КПД механизма.

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКОГО МОМЕНТА

Для *прямого направления потока мощности* (см. рис. 1.5) имеем:

1) при *вращательном движении* равенство мощностей

$$M_c \cdot \omega_1 - M_c \cdot \omega_1(1 - \eta) = M_{\text{но}} \cdot \omega_{\text{но}},$$

где $M_c \cdot \omega_1$ — мощность на валу двигателя, Вт; $M_c \cdot \omega_1(1 - \eta)$ — мощность потерь на трение, Вт; η — КПД; $M_{\text{но}} \cdot \omega_{\text{но}}$ — мощность на валу исполнительного органа рабочей машины, Вт.

После преобразований получим *статический момент*:

$$M_c = M_{\text{но}} \frac{\omega_{\text{но}}}{\omega_1 \eta} = \frac{M_{\text{но}}}{i_p \eta} = M_{\text{пол}} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (1.16)$$

где $M_{\text{но}}/i_p = M_{\text{пол}}$ — полезный приведенный момент исполнительного органа, Н·м; i_p — передаточное число редуктора;

2) при *поступательном движении* равенство мощностей

$$M_c \cdot \omega_1 - M_c \cdot \omega_1(1 - \eta) = F_j \cdot v_j,$$

тогда *статический момент* будет равен

$$M_c = F_j \frac{v_j}{\omega_1} \cdot \frac{1}{\eta} = F_j \cdot \rho_{1j} \frac{1}{\eta}. \quad (1.17)$$

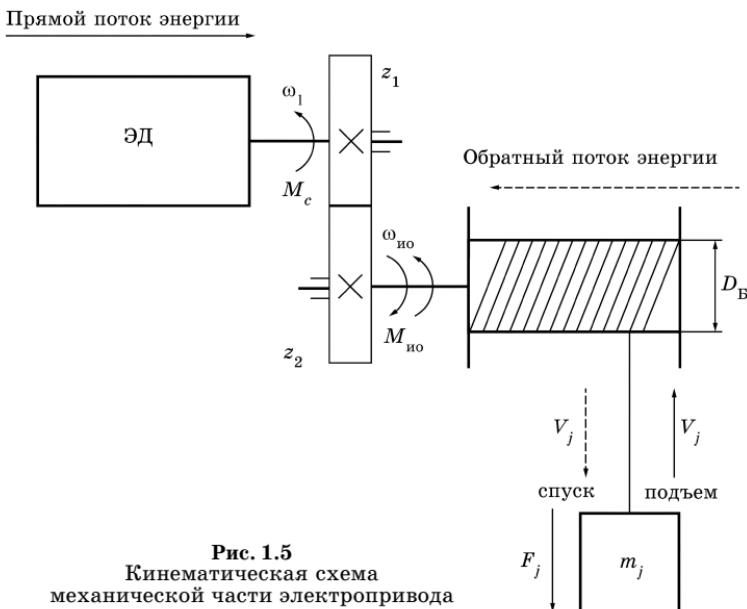


Рис. 1.5
Кинематическая схема
механической части электропривода

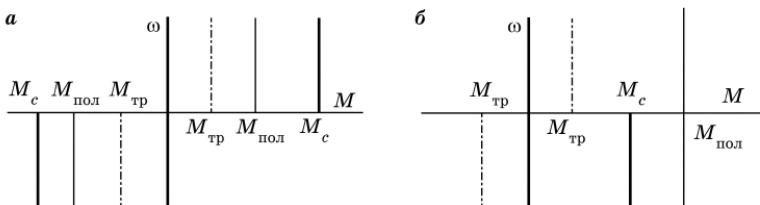


Рис. 1.6
Определение статического момента
при прямом (а) и обратном (б) направлениях потока энергии:
 $M_{\text{тр}}$, $M_{\text{пол}}$, M_C — момент трения, момент полезный, момент статический.

С учетом изложенного двигатель *при прямом направлении потока энергии (мощности)* преодолевает не только полезный момент $M_{\text{пол}}$ исполнительного органа, но и момент трения в кинематической цепи $M_{\text{тр}}$, т. е. статический момент (рис. 1.6а) равен

$$M_C = M_{\text{пол}} + M_{\text{тр}}.$$

Для *обратного направления потока мощности*, например, при спуске груза, когда поток энергии направлен

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru