

## ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электродви́гом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины (РМ) и управления этим движением.

Передаточное устройство (ПУ) содержит механические передачи и соединительные муфты (рис. 11.1).

Преобразовательное устройство (ПрУ) преобразует ток и напряжение источника энергии в ток и напряжение, необходимые для работы электродвигателя (ЭД).

Управляющее устройство (УУ) представляет собой информационную часть системы управления для обработки сигналов задающих воздействий и состояния системы по датчикам обратной

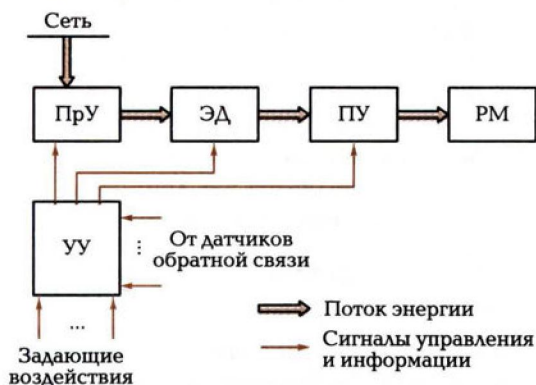


Рис. 11.1

связи и выработки на их основе сигналов управления преобразователем, электродвигателем и передаточным устройством.

Если в системе электропривода обратная связь отсутствует, то она называется *разомкнутой*, в противном случае — *замкнутой*.

К замкнутой системе электропривода относится *слегающий электропривод*, представляющий собой автоматическую систему, с помощью которой исполнительный орган механизма с определенной точностью обрабатывает движение в соответствии с произвольно меняющимся сигналом управляющего органа. Например, на копировальном станке режущий инструмент совершает обработку поверхности изделия, соответствующей практически любой конфигурации поверхности шаблона, по которой перемещается датчик измерительного устройства.

К разомкнутой системе электропривода относится *шаговый электропривод*, представляющий собой автоматическую систему, в которой положение шагового двигателя, а следовательно, и исполнительного органа рабочего механизма соответствует цифровому коду управляющей программы.

Широко применяются электроприводы с простыми системами управления пуском, регулированием частоты вращения и торможением на основе электрических аппаратов автоматики и управления (рубильники, пакетные выключатели, контроллеры, контакторы, реле и др.).

## 11.2. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Механическая часть электропривода представляет собой сложную кинематическую цепь с большим числом движущихся вращательно и поступательно элементов. Пренебрегая зазорами между механическими звеньями и их упругостью, примем механические связи абсолютно жесткими. При этом движение одного элемента дает полную информацию о движении всех элементов привода. Обычно таким элементом является вал двигателя. В общем случае момент на валу двигателя определяется уравнением

$$\begin{aligned} M_{\text{дв}} &= M_{\text{ст}} + J_{\text{дв}} d\Omega_{\text{дв}}/dt + J_{\text{пр}} d\Omega_{\text{дв}}/dt = \\ &= M_{\text{ст}} + (J_{\text{дв}} + J_{\text{пр}}) d\Omega_{\text{дв}}/dt = M_{\text{ст}} + M_{\text{ин}}, \end{aligned} \quad (11.1)$$

где  $M_{\text{ст}}$  — статический тормозной момент привода, приведенный к валу двигателя;  $J_{\text{дв}}$  и  $\Omega_{\text{дв}}$  — момент инерции и угловая скорость ротора (якоря) двигателя;  $J_{\text{пр}}$  — момент инерции всех элементов

привода, за исключением ротора (якоря) двигателя, приведенный к валу двигателя.

Статический тормозной момент создается внешними по отношению к двигателю источниками механической энергии (например, подъем или опускание груза) и имеет положительное значение.

Входящая в уравнение моментов (11.1) величина

$$M_{\text{дин}} = (J_{\text{ав}} + J_{\text{пр}}) d\Omega_{\text{ав}}/dt \quad (11.2)$$

называется *динамическим моментом* привода, включая ротор (якорь) двигателя, приведенный к валу двигателя. Он имеет положительное (отрицательное) значение при ускорении (торможении) движения привода.

При вращательном движении исполнительного органа рабочей машины с угловой скоростью  $\Omega_{\text{р.м}}$  приведение его статического момента сопротивления  $M_{\text{с}}$  и момента инерции  $J_{\text{р.м}}$  к валу двигателя осуществляется на основе балансов мощностей и кинетических энергий ( $\eta$  — КПД передачи)

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{ст}} \Omega_{\text{ав}} &= M_{\text{с}} \Omega_{\text{р.м}} / \eta; \\ \frac{J_{\text{р.м}} \Omega_{\text{р.м}}^2}{2} &= \frac{J_{\text{пр}} \Omega_{\text{ав}}^2}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (11.3)$$

т. е.

$$M_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{с}} \Omega_{\text{р.м}}}{\eta \Omega_{\text{ав}}}; \quad J_{\text{пр}} = J_{\text{р.м}} \left( \frac{\Omega_{\text{р.м}}}{\Omega_{\text{ав}}} \right)^2.$$

Аналогично при поступательном движении исполнительного органа рабочей машины с линейной скоростью  $v_{\text{р.м}}$  приведение его силы сопротивления  $F_{\text{с}}$  и массы  $m_{\text{р.м}}$  к валу двигателя осуществляется на основе балансов мощностей и кинетических энергий

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{ст}} \Omega_{\text{ав}} &= F_{\text{с}} v_{\text{р.м}} / \eta; \\ \frac{m_{\text{р.м}} v_{\text{р.м}}^2}{2} &= J_{\text{пр}} \frac{\Omega_{\text{ав}}^2}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (11.4)$$

т. е.

$$M_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{с}} v_{\text{р.м}}}{\eta \Omega_{\text{ав}}}; \quad J_{\text{пр}} = m_{\text{р.м}} \left( \frac{v_{\text{р.м}}}{\Omega_{\text{ав}}} \right)^2.$$

Момент инерции вращающегося тела равен сумме произведений масс  $m_k$  его части  $k$  на квадрат расстояния  $r_k$  от частицы от оси вращения

$$J = \sum_{k=1}^n m_k r_k^2.$$

Обычно момент инерции выражают как произведение масс  $m$  тела на квадрат радиуса инерции  $r_{ин}$

$$J = \sum_{k=1}^n m_k r_k^2 = m r_{ин}^2, \quad (11.5)$$

где  $r_{ин}$  — расстояние от оси вращения, на котором нужно сосредоточить в одной точке всю массу тела, чтобы получить момент инерции, равный фактическому при распределенной массе.

Радиусы инерции простейших тел указываются в справочных таблицах (для сплошного цилиндра радиусом  $r$  радиус инерции  $r_{ин} = r/\sqrt{2}$ ), моменты инерции роторов и якорей электродвигателей — в каталогах.

Иногда в каталогах для двигателей указывают значение махового момента  $GD_{ин}^2$ , где  $G$  — сила тяжести (вес), Н;  $D_{ин}$  — диаметр инерции, м. В этом случае момент инерции ротора (якоря), кг · м<sup>2</sup>, двигателя равен

$$J_{AB} = \frac{GD_{ин}^2}{4g}, \quad (11.6)$$

где  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> — ускорение свободного падения.

Если известен момент  $M_{AB}$ , Н · м, и частота вращения  $n$ , об/мин, двигателя, то его мощность  $P$ , кВт, определяется по формуле

$$P = M_{AB} \Omega_{вд} = M_{AB} n / 9550, \quad (11.7)$$

где  $\Omega_{вд} = 2\pi n / 60 = n / 9,55$  рад/с.

### 11.3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ И НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

При проектировании электропривода необходимо знать механические характеристики производственных механизмов. Основные характеристики приведены на рис. 11.2:

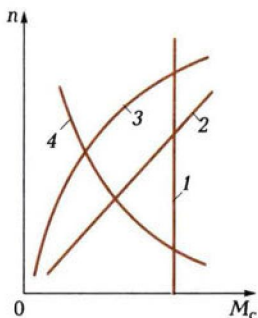


Рис. 11.2

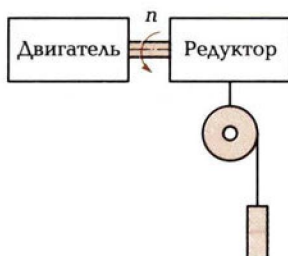


Рис. 11.3

- не зависящей от частоты вращения механической характеристикой (прямая 1) обладают подъемные краны, лебедки, механизмы подачи металлорежущих станков и т. д.;
- линейно-возрастающую механическую характеристику (прямая 2) имеет привод генератора постоянного тока с независимым возбуждением при постоянном сопротивлении цепи нагрузки (см. подразд. 9.8);
- нелинейно-возрастающей (параболической) механической характеристикой (зависимость 3) обладают производственные механизмы с вентиляторным моментом (центробежные насосы, гребные винты и т. п.), поскольку у вентиляторов тормозной момент пропорционален квадрату частоты вращения;
- нелинейно-спадающая механическая характеристика (зависимость 4) свойственна некоторым токарным, расточным, фрезерным и другим режущим станкам.

*Нагрузочная диаграмма* электропривода характеризует зависимость вращающего момента, тока или мощности двигателя от времени. Рассмотрим нагрузочную диаграмму двигателя подъемного механизма (рис. 11.3) за один цикл работы. Ее построение заключается в следующем. В соответствии с данными механического оборудования, технологии работ и требуемой производительности задается примерная диаграмма скорости подъема, т. е. угловой скорости или частоты вращения двигателя (тахограмма) одного цикла работы подъемника  $\Omega_{\text{ДВ}}(t)$  или  $n(t)$  (рис. 11.4, а), предусматривающая интервалы времени ускорения  $\Delta t_1$ , установившегося режима  $\Delta t_2$ , замедления  $\Delta t_3$  и паузы между циклами подъема  $\Delta t_4$ . Угловое ускорение и замедление  $\varepsilon(t) = \frac{d\Omega_{\text{ДВ}}(t)}{dt}$

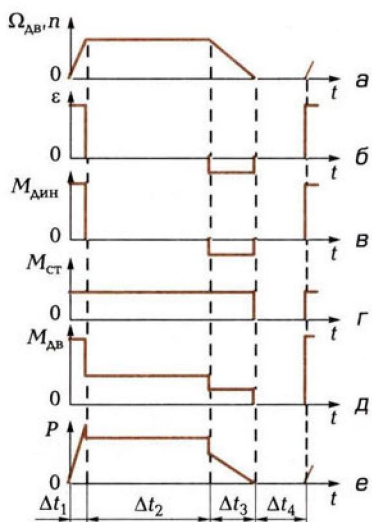


Рис. 11.4

(рис. 11.4, б) имеют постоянные значения и разные знаки в интервалах времени  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_3$ .

В интервалах времени ускорения и торможения характеристика динамического момента инерции, рассчитанная по (11.2), показана на рис. 11.4, в.

Далее по формуле (11.4) определяют приведенный к валу двигателя статический момент (рис. 11.4, г), по формуле (11.1) — момент на валу двигателя (рис. 11.4, г) и по формуле (11.7) — его мощность (рис. 11.4, е).

По нагрузочной диаграмме определяют номинальную мощность двигателя и сравнивают его пусковой и максимальный вращающие моменты с приведенными на диаграмме (см. подразд. 11.7).

## 11.4. НАГРЕВ И ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Потери энергии в двигателе вызывают нагрев его отдельных частей. Допустимый нагрев двигателя определяется нагревостойкостью применяемых изоляционных материалов, которые по нагревостойкости подразделяют на классы:

класс изоляции .....	E	B	F	H и C
допустимая температура, °C .....	120	130	155	180

Рассматривая двигатель как однородное тело, обладающее бесконечно большой теплопроводностью, и полагая, что теплоотдача во внешнюю среду пропорциональна первой степени разности температур двигателя и окружающей среды, уравнение теплового баланса двигателя при постоянной нагрузке будет иметь вид

$$Pdt = A\vartheta dt + Cd\vartheta, \quad (11.8)$$

где  $\vartheta$  — разность температур двигателя и окружающей среды, т. е. перегрев двигателя, °C;  $A$  — теплоотдача двигателя, Вт/°C;  $C$  — теплоемкость двигателя, Вт · с/°C.

Разделив все слагаемые уравнения (11.8) на  $A dt$ , получим

$$\frac{P}{A} = \vartheta + \frac{C}{A} \frac{d\vartheta}{dt}, \quad (11.9)$$

или

$$\tau_n \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = \vartheta_y,$$

где  $\tau_n = C/A$  — постоянная времени нагрева двигателя;  $\vartheta_y = P/A$  — установившееся значение перегрева двигателя.

Решение дифференциального уравнения (11.9) имеет вид

$$\vartheta = \vartheta_y + (\vartheta_0 - \vartheta_y)e^{-t/\tau_n}, \quad (11.10)$$

где  $\vartheta_0$  — начальное значение перегрева двигателя в момент времени  $t = 0$  и учтено условие  $\vartheta(0_-) = \vartheta(0_+)$ , т.е. температура двигателя не может измениться скачком.

Если начальное значение перегрева двигателя  $\vartheta_0 = 0$ , то зависимость (11.10) примет вид

$$\vartheta = \vartheta_y(1 - e^{-t/\tau_n}), \quad (11.11)$$

подобной зависимости от времени напряжения на конденсаторе при его зарядке (1.21).

У самовентилируемых двигателей открытого исполнения малой и средней мощности постоянная времени нагрева  $\tau_n$  составляет около 1 ч, у двигателей закрытого исполнения большой мощности — 3—4 ч. При отключении от сети и остановке двигателя постоянная времени охлаждения  $\tau_o = (3—5)\tau_n$  вследствие ухудшения условий теплоотдачи.

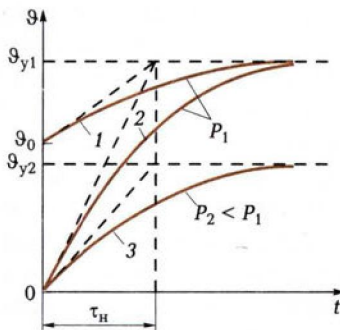


Рис. 11.5

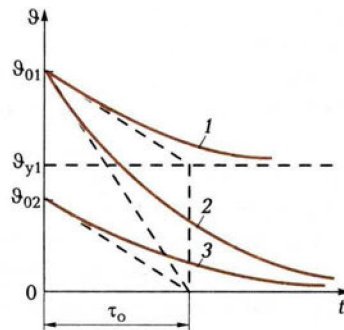


Рис. 11.6

На рис. 11.5 построены зависимости 1 и 2 нагрева двигателя соответственно для значения начального перегрева  $\vartheta_0 > 0$  и  $\vartheta_0 = 0$  при одной и той же мощности  $P_1$  на валу двигателя. Если мощность нагрузки двигателя меньше  $P_2 < P_1$ , то нагреванию двигателя при  $\vartheta_0 = 0$  соответствует зависимость 3.

Процесс охлаждения двигателя отображают зависимости на рис. 11.6. Зависимость 1 соответствует уменьшению нагрузки, а зависимости 2 и 3 — отключению двигателя от сети.

## 11.5. ВЫБОР ВИДА И ТИПА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

При выборе *вида* двигателя (постоянного тока, асинхронного, синхронного) важную роль играет его механическая характеристика (рис. 11.7). Одним из основных критериев механических характеристик является *жесткость*

$$\alpha = \Delta M_{\text{вр}} / \Delta n,$$

значения которой могут различаться на различных участках характеристик.

Если изменение тормозного момента, создаваемого на валу двигателя производственным механизмом, не должно сопровождаться изменением частоты вращения двигателя, то его механическая характеристика должна быть жесткой. Такие требования предъявляются, например, к станам холодной прокатки стали, где для электропривода используются синхронные двигатели. Однако при этом пропорционально изменяются ток, мощность и вращающий момент двигателя (см. подразд. 8.23), что может вызвать его тепловую и механическую перегрузку.

Если увеличение (уменьшение) тормозного момента рабочего механизма допускает одновременное уменьшение (увеличение) частоты вращения двигателя, то желательна мягкая механическая характеристика двигателя. При этом ток и мощность двигателя изменяются незначительно (см. подразд. 9.14).

Для нерегулируемых приводов мощностью до 100 кВт при частых пусках, непостоянной нагрузке и отсутствии специальных требований наиболее надежным и простым в эксплуатации является асинхронный двигатель с короткозамкнутой обмоткой ротора.

Асинхронные двигатели с фазным ротором применяются для приводов большой мощности при наличии особых требований к пусковому моменту или пусковому току (например, связанных с ограниченной мощностью трансформаторной подстанции).



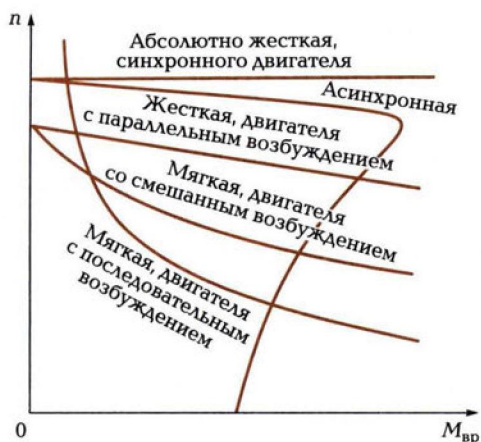


Рис. 11.7

Конструкцию (*тип*) двигателя выбирают в зависимости от условий его работы: необходимости защиты окружающей среды от возможных искрообразования в двигателе (при наличии горючей пыли, взрывоопасных смесей и т. п.), а также самих двигателей от попадания в них влаги, пыли, агрессивных химических веществ и т. п.

Различают несколько основных типов конструкций двигателей.

*Двигатели открытого типа* с большими вентиляционными отверстиями в подшипниковых щитах и станине для лучших условий охлаждения применяются редко ввиду возможности их легкого засорения в производственных условиях и опасности поражения током обслуживающего персонала при прикосновении к открытым токоведущим частям.

*Двигатели защищенного типа* имеют вентиляционные отверстия, которые закрыты решетками, предохраняющими двигатель от попадания внутрь капель дождя, посторонних частиц, опилок и т. п., но не пыли.

*Двигатели закрытого типа* устанавливают в запыленных помещениях при наличии в воздухе паров едких веществ и т. п. Для улучшения охлаждения таких двигателей применяют принудительное воздушное охлаждение. В сырых помещениях устанавливают защищенные двигатели со специальной влагостойкой изоляцией, во взрывоопасных помещениях, содержащих горючие газы или пары, — взрывозащищенные двигатели.

## 11.6. НОМИНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Различают продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный номинальные режимы работы электродвигателей.

*Продолжительным номинальным режимом работы* электродвигателя называется режим его работы с неизменной нагрузкой  $P$ , при которой превышения температуры  $\vartheta$  всех его частей над температурой окружающей среды достигают установившихся значений  $\vartheta_y$ . Длительно с постоянной нагрузкой работают вентиляторы, насосы, компрессоры, текстильные станки.

На щитке электродвигателя, предназначенного для длительной работы, указывают сокращенное слово «Длит.» или символ  $S1$  и значение номинальной мощности на валу  $P_{ном}$ .

*Кратковременным номинальным режимом работы* электродвигателя называется режим, при котором интервалы времени его работы  $\Delta t_p$  с неизменной нагрузкой  $P$  чередуются с интервалами времени отключения от сети. При этом за интервалы времени нагрузки перегрев двигателя не достигает установившихся значений, а за интервалы времени остановки все части двигателя охлаждаются до температуры окружающей среды.

В режиме кратковременной нагрузки работают приводы разводных мостов, шлюзов, задвижек трубо- и газопроводов и других механизмов. На щитке электродвигателя, предназначенного для кратковременного режима работы, указывают номинальный интервал времени работы (10, 30, 60, 90 мин) при номинальной мощности на валу  $P_{ном}$  и символ  $S2$ .

*Повторно-кратковременным номинальным режимом работы* электродвигателя называется режим, при котором повторяющиеся интервалы времени его работы  $\Delta t_p$  с неизменной нагрузкой  $P$  чередуются с интервалами времени отключения от сети  $\Delta t_o$ . Причем длительности интервалов времени  $\Delta t_p$  и  $\Delta t_o$  малы, чтобы температуры всех частей двигателя могли достичь установившихся значений.

В этом режиме типовое значение продолжительности повторяющихся циклов:  $\Delta t_{ц} = \Delta t_p + \Delta t_o \leq 10$  мин, а относительная продолжительность включения

$$ПВ = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_p + \Delta t_o} 100 \% \quad (11.12)$$

имеет стандартные значения 15, 25, 40 и 60 %. В повторно-кратковременном режиме работают электроприводы подъемных кранов

и большинства металлорежущих станков. На щитке электродвигателя, предназначенного для работы в повторно-кратковременном режиме, указывают символ  $S3$  и значение относительной продолжительности включения (ПВ) при номинальной мощности на валу  $P_{\text{ном}}$ .

## 11.7. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Правильный расчет мощности двигателя и его выбор должны удовлетворять требованиям экономичности, производительности и надежности электропривода. При этом должен учитываться режим работы электродвигателя.

**Продолжительный режим работы.** При продолжительной неизменной нагрузке мощность двигателя принимается равной мощности нагрузки с учетом КПД передаточного механизма. Выбранный затем по каталогу ближайший по мощности двигатель следует проверить по значению пускового момента. Если продолжительная по времени нагрузка меняет циклически свое значение, то для расчета мощности двигателя применяются методы средних потерь и эквивалентных величин.

*Метод средних потерь* заключается в том, что перегрев двигателя при неизменной теплоотдаче определяется средними потерями за один цикл (рис. 11.8):

$$\Delta P_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^m \Delta P_i \Delta t_i / \Delta t_{\text{ц}}, \quad (11.13)$$

где  $\Delta P_i$  — мощность потерь на  $i$ -м интервале времени;  $\Delta t_i$  — продолжительность  $i$ -го интервала времени;  $\Delta t_{\text{ц}}$  — продолжительность интервала времени цикла;  $m$  — число интервалов времени в цикле.

Найденное значение мощности средних потерь сравнивается с мощностью потерь при неизменной номинальной мощности двигателя на валу  $P_{\text{ном}}$  и, если

$$\Delta P_{\text{cp}} \leq \Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}}) / \eta_{\text{ном}}, \quad (11.14)$$

то среднее превышение температуры различных частей двигателя не будет превышать допустимого значения  $\vartheta \leq \vartheta_{\text{ном}}$ .

Порядок расчета мощности двигателя методом средних потерь состоит в следующем. По нагрузочной диаграмме производствен-

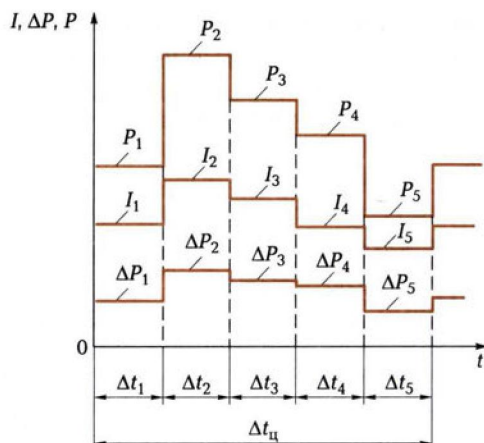


Рис. 11.8

ного механизма (см. рис. 11.4) определяется средняя мощность на

валу двигателя  $P_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^m P_i \Delta t_i / \Delta t_{\text{ц}}$  и по каталогу предварительно вы-

бирается двигатель номинальной мощностью

$$P_{\text{ср}} \leq P_{\text{ном}}. \quad (11.15)$$

Располагая из каталога кривыми КПД двигателя в функции нагрузки при разных частотах вращения, находим мощность потерь на каждом интервале времени нагрузочной диаграммы, среднюю мощность потерь по (11.13) и сравниваем ее значение со значением мощности номинальных потерь по (11.14).

*Метод эквивалентных величин* заключается в том, что для выбора двигателя пользуются значениями эквивалентных величин тока, момента и мощности. Так, мощность переменных потерь в двигателе в каждый момент времени равна  $Ri^2$ , где  $R$  и  $i$  — активное сопротивление и ток обмоток двигателя. Изменяющийся ток двигателя за время одного цикла (см. рис. 11.8) можно заменить неизменным эквивалентным током при условии равенства мощностей переменных потерь в обоих случаях:

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m I_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}}. \quad (11.16)$$

Если найденное значение эквивалентного тока удовлетворяет условию для предварительно выбранного по (11.15) двигателя

$$I_{\text{эк}} \leq I_{\text{ном}}$$

то двигатель выбран правильно. Метод эквивалентного тока не применяется в тех случаях, когда необходимо учитывать мощность постоянных потерь в магнитопроводе на гистерезис и вихревые токи и в асинхронных двигателях с короткозамкнутой обмоткой ротора в виде двойного беличьего колеса или глубокого паза (см. подразд. 8.10). Последнее объясняется тем, что активное сопротивление обмотки ротора в пусковых и тормозных режимах переменное.

Полагая, что значения вращающего момента и мощности двигателя пропорциональны значению его тока, получим из (11.16) выражения эквивалентных момента и мощности:

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m M_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}}; \quad P_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}}.$$

Если эквивалентные момент и мощность не превышают номинальных значений одноименных величин предварительно выбранного по (11.15) двигателя

$$\left. \begin{array}{l} M_{\text{ном}} \geq M_{\text{эк}}; \\ P_{\text{ном}} \geq P_{\text{эк}} \end{array} \right\} \quad (11.17)$$

то двигатель выбран правильно.

Методы эквивалентных момента и мощности не применяются для расчета двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением, так как его момент и мощность не пропорциональны его току (см. подразд. 9.14).

**Кратковременный и повторно-кратковременный режимы работы.** Двигатели, предназначенные для кратковременной работы, выпускают с нормированной продолжительностью работы: 10, 30, 60 и 90 мин. При этом выбранный по каталогу двигатель при номинальной мощности в течение указанных интервалов времени будет использован по нагрузке полностью.

Для режима кратковременной нагрузки ( $P_{\text{р.к}}$ ) могут применяться двигатели, предназначенные для режима длительной на-

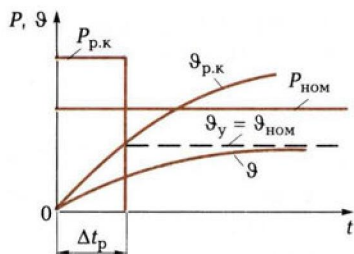


Рис. 11.9

грузки ( $P_{\text{ном}}$ ). Эти двигатели можно в течение интервала времени работы  $\Delta t_p$  механически перегружать (рис. 11.9) так, чтобы перегрев двигателя  $\vartheta_{\text{р.к}}$  не превышал допустимого уровня  $\vartheta_{\text{ном}}$ . В большинстве случаев в режиме кратковременной нагрузки эти двигатели не могут быть использованы по нагреву полностью, так как раньше проявляются ограничения по механической перегрузке.

Перегрузочная способность  $k_{\text{дв}} = P_{\text{max}}/P_{\text{ном}}$  двигателей различных видов имеет значения:

двигатели постоянного тока .....	2—2,5
асинхронные двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора нормального исполнения .....	1,7—2,2
то же, с фазным ротором .....	2,0—2,5
синхронные двигатели .....	2,0—2,5

Порядок расчета мощности двигателя, предназначенного для режима длительной нагрузки, в режиме кратковременной нагрузки состоит в следующем. Из нагрузочной диаграммы определяют мощность кратковременной нагрузки, например,  $P_{\text{р.к}} = 20$  кВт. Предварительно выбирают асинхронный двигатель с перегрузочной способностью  $k_{\text{дв}} = 2$  и определяют его номинальную мощность  $P_{\text{ном}} = P_{\text{р.к}}/2 = 20/2 = 10$  кВт. По каталогу выбирается двигатель с ближайшей большей по значению номинальной мощностью и затем проверяется по значениям пускового и максимального вращающих моментов.

Двигатели, предназначенные для повторно-кратковременной работы, выпускают с нормированными значениями относительной продолжительности включения (11.12). Выбранный по каталогу двигатель при номинальных значениях мощности  $P_{\text{ном}}$  и продолжительности включения  $\text{ПВ}_{\text{ном}}$  будет использован по нагреву полностью. При увеличении (уменьшении) продолжительности включения относительного номинального значения  $\text{ПВ}_{\text{ном}}$  мощность нагрузки двигателя относительно значения его номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$  должна быть уменьшена (может быть увеличена).

Порядок расчета мощности двигателя, предназначенного для режима длительной нагрузки, в повторно-кратковременном режи-

ме работы сводится к следующему. По нагрузочной диаграмме производственного механизма с учетом КПД механической передачи рассчитывают среднее значение мощности  $P_{\text{ср}}$  на валу двигателя. По каталогу предварительно выбирается двигатель с ближайшей большей номинальной мощностью и затем проверяется по значениям пускового и максимального вращающих моментов и условиям (11.14) и (11.17).

## 11.8. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Управление электроприводом заключается в осуществлении пуска, регулирования скорости, торможения, реверсирования, а также поддержания режимов работы привода в соответствии с требованиями технологического процесса.

Современные системы управления электроприводами содержат десятки отдельных элементов, поэтому начертание принципиальных схем управления производится по правилам, облегчающим их чтение.

На принципиальных схемах различают главные и вспомогательные цепи. К *главным цепям* относятся силовые цепи двигателей, к *вспомогательным* — цепи управления, содержащие электрические аппараты автоматики и управления (реле, контакторы, магнитные пускатели и др.). Первые вычерчивают утолщенными линиями, вторые — тонкими. При этом различные элементы, принадлежащие одному аппарату, например обмотки и контакты контактора, обозначают одинаковыми буквами и цифрами.

В приводах с нерегулируемым или ступенчато регулируемым режимом работы применяются разомкнутые системы управления на основе релейно-контактных аппаратов, в более сложных — замкнутые системы управления на основе управляемых преобразователей.

**Электропривод постоянного тока.** Процесс пуска двигателей постоянного тока в разомкнутых релейно-контактных системах управления может осуществляться в функции значений частоты вращения якоря, тока или времени, а процесс торможения — в функции значений частоты вращения якоря или времени.

Рассмотрим схему управления пуском и торможением двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции частоты вращения якоря. При этом воспользуемся тем, что частота вращения якоря по формуле (9.5) пропорциональна ЭДС якоря  $E_{\text{я}}$ ,

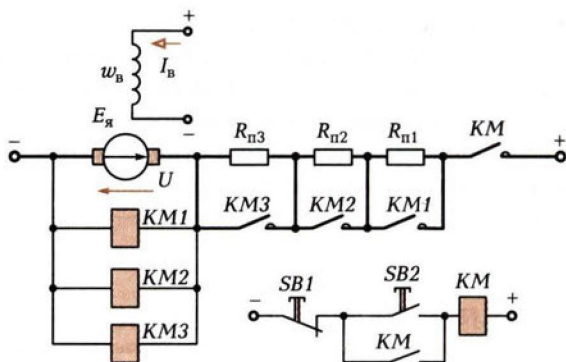


Рис. 11.10

которая по формуле (9.3) при малом падении напряжения на сопротивлении цепи якоря равна напряжению  $U$  между щетками.

Каждый из контакторов  $KM1$ ,  $KM2$ ,  $KM3$  в схеме управления пуском двигателя (рис. 11.10) настроен на определенное значение напряжения  $U$  между щетками коллектора, пропорциональное значению частоты вращения якоря  $n$ . По мере увеличения частоты вращения якоря, например, до значений  $n_1 < n_2 < n_3$ , увеличивается напряжение между щетками до значений  $U_1 < U_2 < U_3$ , последовательно во времени срабатывают контакторы  $KM1$ ,  $KM2$  и  $KM3$ , замыкая своими главными контактами резисторы  $R_{n1}$ ,  $R_{n2}$  и  $R_{n3}$ . Когда все ступени пускового реостата зашунтируются, двигатель будет работать на естественной характеристике (см. рис. 9.34).

Пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки  $SB2$  («Пуск»). При этом срабатывает контактор  $KM$ , его главные контакты включают цепь якоря в сеть, а вспомогательные контакты шунтируют контакты кнопки  $SB2$ , обеспечивая включение двигателя после их размыкания.

Отключение двигателя осуществляется нажатием кнопки  $SB1$  («Стоп»). При этом контактор  $KM$  отключается, его главные и вспомогательные контакты размыкаются, цепь якоря двигателя отключается от сети, а контактор  $KM$  — от вспомогательной цепи оперативного тока.

Возможны три способа электромагнитного торможения двигателя постоянного тока: с возвратом энергии, противовключением и динамическое (см. подразд. 9.16).

Рассмотрим схему управления динамическим торможением двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в фун-



кции частоты вращения якоря (рис. 11.11). При отключении контактора  $KM1$  после нажатия на кнопку  $SB1$  замыкается его вспомогательный контакт в цепи тока управления реле  $KV$ , которое включено параллельно цепи якоря.

Так как значение напряжения между выводами обмотки якоря в начале процесса отключения двигателя велико, то реле  $KV$  срабатывает и своими контактами замыкает цепь катушки управления контактора  $KM2$ . Последний своими главными контактами включает цепь якоря на резистор  $R_T$ , что и обуславливает торможение двигателя. При включении двигателя нажатием кнопки  $SB2$  работа схемы управления аналогична работе схемы пуска на рис. 11.10. Из сравнения схем управления пуском (см. рис. 11.10) и торможением (см. рис. 11.11) двигателя видно, что их можно совместить.

**Электропривод синусоидального тока.** Пуск асинхронных двигателей малой мощности с короткозамкнутой обмоткой ротора осуществляется обычно с помощью магнитных пускателей, которые состоят из контактора синусоидального тока и встроенных в него тепловых реле.

Простейшая схема такого пуска асинхронного двигателя приведена на рис. 11.12. При включенном автоматическом выключателе  $QF$  пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки  $SB2$ . При этом срабатывает контактор  $KM$ . Его главные контакты, замыкаясь, присоединяют обмотки фаз статора к сети. Одновременно в цепи управления замыкаются вспомогательные контакты

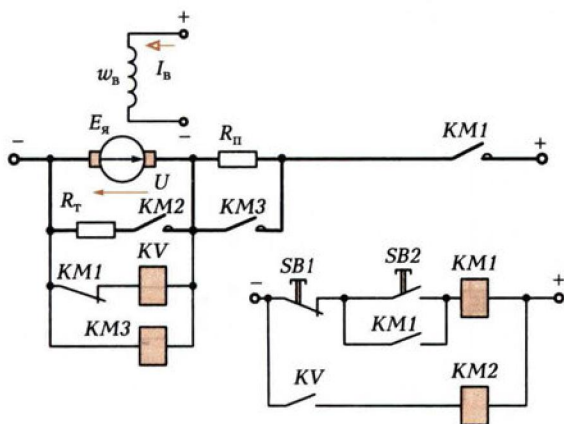


Рис. 11.11

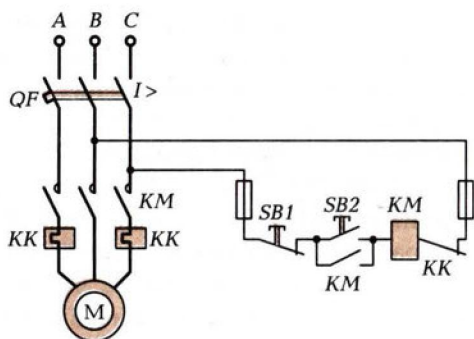


Рис. 11.12

*КМ*, блокирующие кнопку *SB2* так, что при возврате ее в исходное положение рабочее состояние контактора не изменяется. Нажатием кнопки *SB1* двигатель отключается от сети. При этом цепь тока управления контактором размыкается.

Автоматический выключатель защищает двигатель от токов короткого замыкания, а тепловые реле — от длительных перегрузок.

В тех случаях, когда необходимо изменять направление вращения (например, при работе привода задвижек на трубопроводах, механизмов подачи станков и т.п.), управление асинхронным двигателем с короткозамкнутой обмоткой ротора может

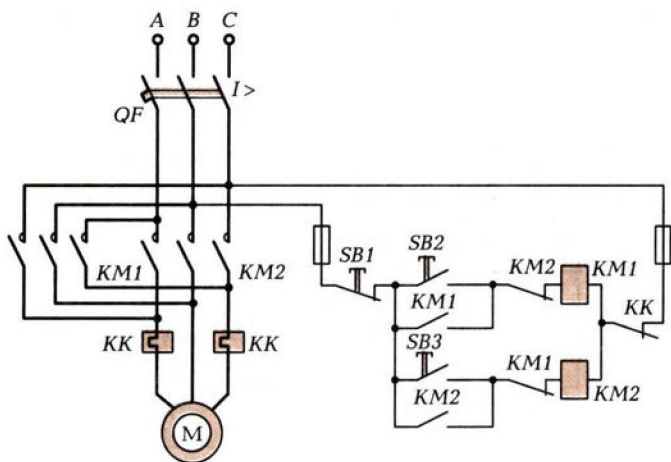


Рис. 11.13

быть осуществлено с помощью реверсивного магнитного пускателя (рис. 11.13).

При включенном автоматическом выключателе  $QF$  пуск двигателя для одного направления вращения производится нажатием кнопки  $SB2$  («Вперед»). При этом срабатывает контактор  $KM1$  и его главные контакты, замыкаясь, присоединяют обмотки фаз статора к сети. Одновременно вспомогательные контакты  $KM1$  блокируют кнопку  $SB2$  при ее возврате в исходное состояние и размыкают цепь управления контактора  $KM2$ .

Для включения двигателя на противоположное направление вращения необходимо сначала нажать кнопку  $SB1$ , вернув цепь управления в исходное электрическое состояние, и затем нажать кнопку  $SB3$  («Назад»). При этом срабатывает контактор  $KM2$  и его главные контакты, замыкаясь, присоединят обмотки фаз статора к сети так, что порядок подключения двух фаз изменится. Изменяется и направление вращения магнитного поля токов статора (см. рис. 8.8, б). Вспомогательные контакты  $KM2$  блокируют кнопку  $SB3$  при ее возврате в исходное состояние и размыкают цепь управления контактора  $KM1$ . Кроме электрической блокировки кнопок  $SB2$  и  $SB3$  в реверсивных магнитных пускателях предусмотрена их механическая блокировка, предохраняющая от короткого замыкания в трехфазной цепи при ошибочном одновременном нажатии на обе кнопки.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Из каких основных частей состоит электропривод?
2. Какая система электропривода называется замкнутой и какая разомкнутой?
3. Изобразите наиболее характерные механические характеристики производственных механизмов.
4. Дайте определения номинальных режимов работы электропривода: продолжительного, кратковременного и повторно-кратковременного.
5. Какие основные функции выполняет система управления электроприводом на основе релейно-контактных аппаратов?