

# ЭЛЕКТРОПРИВОД

Проектирование ЭП

## Проектирование ЭП

**Выбор силовых преобразователей.** Основой для выбора силовых преобразователей для регулируемых электроприводов являются тип и данные применяемого двигателя и условия работы преобразователя. Выбор осуществляется по следующим показателям и параметрам преобразователей:

- уровень и частота напряжения питающей сети;
- величина номинальной мощности или тока двигателя;
- число фаз двигателя;
- диапазон регулирования выходного напряжения и (или) частоты;
- возможность реверса и торможения двигателя;
- режим работы электропривода ( $S1$ ,  $S2$ ,  $S3$ );
- допустимая перегрузка преобразователя по току;
- наличие требуемых защит и сигнализации;
- наличие средств диагностики;
- климатическое исполнение и категория размещения;
- степень защиты IP;

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

В качестве дополнительных факторов при выборе преобразователей могут учитываться КПД, массогабаритные и стоимостные показатели, показатели надежности (наработка на отказ, средний срок службы, среднее время восстановления и т.д.), уровень создаваемых помех. При учете этих факторов целесообразно использовать интегральные показатели качества и весовые коэффициенты (коэффициенты значимости) отдельных показателей преобразователей.

Полупроводниковые пусковые устройства для двигателя выбираются по тем же показателям, что и преобразователи. Дополнительно к ним должны учитываться:

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

реверсивный или нереверсивный характер работы двигателя;  
способ ограничения пускового тока (целесообразный характер изменения напряжения при пуске, определяемый видом механической нагрузки двигателя);

необходимость электрического торможения двигателя;  
способ подачи сигнала управления на пускатель — электро-механический контакт (кнопка, ключ управления) или потенциальный сигнал управления (напряженческий или токовый);

износостойкость пускателя;  
допустимая частота включений.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

**Выбор электрических аппаратов.** К силовым электрическим аппаратам относятся автоматические выключатели, контакторы и магнитные пускатели. Выбор производится по следующим показателям и параметрам:

- коммутируемые аппаратом токи и мощности двигателя;
- напряжение двигателя;
- число коммутируемых цепей;
- напряжение и токи цепей управления;
- напряжение катушки аппарата;
- режим работы аппарата — кратковременный, длительный, повторно-кратковременный;
- условия работы аппарата — температура, влажность, давление, наличие вибрации и др.;



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

- способы монтажа аппарата;
- экономические и массогабаритные показатели;
- удобство сопряжения и электромагнитной совместимости с другими устройствами и аппаратами;
- стойкость к электрическим, механическим и термическим перегрузкам;
- климатическое исполнение и категории размещения;
- степень защиты IP;
- требования техники безопасности;
- высота над уровнем моря.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Способность электрического аппарата к перегрузкам определяется его предельной коммутационной способностью, электродинамической и термической стойкостью.

*Предельной коммутационной способностью* электрического аппарата называют максимальное значение тока короткого замыкания, которое он способен отключить несколько раз, оставаясь исправным.

*Электродинамическая стойкость* характеризуется амплитудой ударного тока короткого замыкания, который способен пропустить аппарат без своего повреждения.

*Термическая стойкость* характеризуется допустимым количеством тепла, которое может быть выделено в аппарате за время действия тока короткого замыкания.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Для определения соответствия этих параметров электрических аппаратов условиям работы электроустановки должны быть предварительно определены токи короткого замыкания.

Автоматические выключатели рекомендуется применять в ответственных установках при необходимости быстрого восстановления напряжения питания, дистанционного управления и комплексной защиты, в асинхронных электроприводах для предотвращения однофазного режима работы двигателей. Их использование целесообразно также в электроприводах с малой частотой включения, где они обеспечивают включение и защиту двигателя и могут применяться вместо магнитных пускателей.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Автоматические выключатели выбираются по номинальным току и напряжению, роду тока, предельной коммутационной способности, электродинамической и термической стойкости, собственному времени отключения. Все параметры автоматов должны соответствовать их работе как в обычном, так и аварийном режимах, а конструктивное исполнение — условиям размещения.

Номинальный ток автомата должен быть не ниже тока продолжительного режима установки, а сам аппарат не должен отключаться при предусмотренных технологических перегрузках.

Проверка выбираемого автомата по условию защиты электроустановки от токов короткого замыкания состоит в сопоставлении тока короткого замыкания в установке с предельной коммутационной способностью автомата, которая должна быть выше этого тока.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Защита установки от перегрузок по току будет обеспечена, если номинальный ток автомата с тепловым расцепителем будет равен или несколько больше номинального тока защищаемого объекта.

Уставка тепловой и максимальной защит электродвигателей должна соответствовать уровням соответствующих токов двигателя. Максимальная токовая защита не должна срабатывать при пу-

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

ске двигателя, для чего ее уставка  $I_{уст\ max}$  выбирается по соотношению

$$I_{уст\ max} \geq k_n I_{пуск}, \quad (10.35)$$

где  $k_n$  — коэффициент, учитывающий вид расцепителя и возможный разброс тока его срабатывания относительно уставки,  $k_n = 1,5 \dots 2,2$ ;  $I_{пуск}$  — пусковой ток двигателя.

Защита от перегрузки (тепловая защита) считается эффективной при следующем соотношении ее тока уставки  $I_{уст}$  и номинального тока двигателя:

$$I_{уст} = (1,2 \dots 1,4) I_{ном}. \quad (10.36)$$

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

К числу показателей, по которым выбираются контакторы и магнитные пускатели, относятся характер и величина напряжений главной цепи и цепи управления (включающих катушек); коммутационная способность контактов и их количество, допустимая частота включений; режим работы; категория размещения; степень защиты от воздействия окружающей среды.

Выключатели и переключатели выбираются по роду и величине напряжения, току нагрузки, количеству переключений, которое они допускают по условиям механической и электрической износостойкости, а также конструктивному исполнению.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

**Выбор механической передачи.** Механическая передача служит для согласования движения вала двигателя и исполнительного органа рабочей машины. Основными показателями при ее выборе являются передаточное число или радиус приведения и требуемая характеристика преобразования движения. По характеристике преобразования движения различают следующие виды механических передач:

- механические передачи для преобразования вращательного движения вала двигателя во вращательное движение исполнительного органа рабочей машины. К таким передачам относятся все виды редукторов, ременные и цепные передачи и вариаторы;
- механические передачи для преобразования вращательного движения вала двигателя в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины. К таким передачам относятся передачи «винт—гайка», реечные передачи и кривошипно-шатунные механизмы.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

За счет выбора передаточного числа (радиуса приведения) механической передачи могут быть оптимизированы определенные показатели работы электропривода.

Одна из типовых задач такого рода связана с обеспечением минимального времени пуска или торможения двигателя, т.е. с получением максимального быстродействия электропривода. Это достигается за счет оптимизации передаточного числа редуктора, которому будет соответствовать минимальный запас кинетической энергии и тем самым минимальные потери энергии в переходных процессах. Покажем эту связь и найдем оптимальное передаточное число редуктора.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Допустим, что моменты двигателя и нагрузки в переходных процессах постоянны. Тогда, относя потери в механической передаче к моменту нагрузки и используя основное уравнение движения, можно для времени переходного процесса  $t_{п.п}$  записать

$$t_{п.п} = J_{\Sigma} \omega_c / (M_d \pm M_c) = (\beta J_d + J_{ио} / i^2) / (M_d \pm M_{ио} / i), \quad (10.37)$$

где  $M_d$ ,  $M_{ио}$ ,  $M_c$  — моменты двигателя, исполнительного органа и нагрузки на валу двигателя;  $J_d$ ,  $J_{ио}$  — моменты инерции двигателя и исполнительного органа;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий момент инерции элементов редуктора;  $i$  — передаточное число редуктора. Знак «минус» в этой формуле соответствует пуску двигателя, знак «+» — его торможению.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Заменяя в выражении (10.37) передаточное число отношением скоростей двигателя и исполнительного органа на  $i = \omega_c / \omega_{ио}$ , получаем после преобразований

$$\begin{aligned} t_{п.п} &= (\beta J_d \omega_c^2 + J_{ио} \omega_{ио}^2) / (M_d \omega_c \pm M_{ио} \omega_{ио}) = \\ &= 2(\beta W_d + W_{ио}) / (P_d + P_{ио}), \end{aligned} \quad (10.38)$$

где  $W_d$ ,  $W_{ио}$  — запасы кинетической энергии двигателя и исполнительного органа при скорости  $\omega_c$ ,  $W_d = J_d \omega_c^2 / 2$ ,  $W_{ио} = J_{ио} \omega_{ио}^2 / 2$ ;  $P_d$ ,  $P_{ио}$  — мощности двигателя и нагрузки.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Из формулы (10.38) следует, что минимальному времени переходного процесса соответствует минимальный запас кинетической энергии в электроприводе и исполнительном органе рабочей машины и тем самым минимальные потери энергии в динамических режимах.

Найдем оптимальное передаточное число редуктора для случая пуска двигателя (знак «минус» в формулах), при котором время пуска и, следовательно, потери энергии будут минимальными. Для этого находим производную  $dt_{п.п}/di$  и приравниваем ее нулю. После преобразований получаем следующее выражение:

$$i_{\text{опт}} = M_{\text{ио}}/M_{\text{д}} + \sqrt{(M_{\text{ио}}/M_{\text{д}})^2 + J_{\text{ио}}/(\beta J_{\text{д}})}. \quad (10.39)$$

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

В табл. 10.1 в качестве примера приведены рассчитанные по формуле (10.39) значения  $i_{\text{опт}}$  для случая  $M_{\text{ИО}}/M_{\text{д}} = 0,5$  и различных отношениях  $J_{\text{ИО}}/(\beta J_{\text{д}})$  при  $\beta = 1$ .

Таблица 10.1

### Значения оптимального КПД редуктора

$J_{\text{ИО}}/J_{\text{д}}$	0,1	0,5	1	5	10	50	100
$i_{\text{опт}}$	1,09	1,37	1,62	2,79	3,7	7,59	10,5

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Важно отметить, что найденное оптимальное передаточное число, кроме обеспечения минимальных времени и потерь энергии в переходных процессах, должно обеспечить также и необходимую рабочую скорость исполнительного органа рабочей машины.

Далее приведены ориентировочные значения КПД ряда механических передач при их номинальной нагрузке.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

Цилиндрическая передача:

со шлифованными прямыми зубьями .....	0,99
нарезными прямыми зубьями .....	0,98
необработанными прямыми зубьями .....	0,96
косыми зубьями .....	0,975
шевронными зубьями .....	0,985

Коническая зубчатая передача .....

	0,975
--	-------

Червячная передача .....

	0,6 ... 0,8
--	-------------

Ременная передача .....

	0,94 ... 0,96
--	---------------

Клиноременная передача .....

	0,8 ... 0,98
--	--------------

Цепная передача .....

	0,98
--	------

Фрикционная передача .....

	0,7 ... 0,8
--	-------------



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭП

### Цапфы опор:

плохая смазка .....	0,94
хорошая смазка .....	0,97
кольцевая смазка .....	0,98
шариковый подшипник .....	0,99
Блоки .....	0,96... 0,97
Полиспасты .....	0,92... 0,98
Барабан цепной .....	0,97

