

Руководство по применению инвертора

О выборе мощности инвертора

Toshiba Schneider Inverter Corporation

Это руководство предназначено только для описания типовых операций и применению продукта. Техническая информация, содержащаяся в этом руководстве, не предоставляет прав интеллектуальной собственности, или других прав, связанных с разрешением на использование или лицензией Компании Toshiba Schneider Electric на передачу третьим лицам для использования этой технической информации или всего продукта.

© Toshiba Schneider Inverter Corporation 2003
All rights reserved.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Выбор мощности инвертора.....	2
1.1 Расчетные формулы для выбора мощности инвертора.....	2
1.1.1 Расчет времени ускорения и торможения.....	2
1.1.2 Выбор тормозных резисторов.....	4
1.2 Процедура выбора мощности инвертора.....	5
1.2.1 Соответствие момента нагрузки и мощности двигателя.....	5
1.2.2 Соответствие момента инерции.....	6
1.2.3 Соответствие момента ускорения.....	6
1.2.4 Соответствие момента торможения.....	7
1.2.5 При малом времени ускорения/торможения или стартовом моменте более 150%.....	8
1.2.6 Вычисление минимального времени ускорения/торможения.....	8
1.2.7 Выбор инвертора.....	9
1.3 Пример вычисления мощности (вентилятор).....	10
2. Выбор мощности двигателя.....	12
2.1 Формулы для двигателя.....	12
2.2 Формулы для вычисления момента инерции.....	13
2.3 Вычисление необходимой мощности двигателя.....	14
2.4 Падение напряжения.....	16
2.5 Расчет мощности двигателя с регулируемой скоростью.....	16
Приложение 1: Тормозные резисторы	19
Приложение 2: Блоки тормозных резисторов (со встроенной силовой схемой)	21
Приложение 3: Минимально допустимые сопротивления	22

1. Выбор мощности инвертора

Для привода двигателя от инвертора прежде, чем выбирать мощность инвертора, важно правильно выбрать мощность двигателя. Для оценки верности выбора мощности инвертора необходимо получить количественные данные по каждому нижеследующему пункту.

- Может ли быть получен необходимый стартовый момент?
- Возможно ли ускорение за указанное время?
- Возможно ли торможение за указанное время?

1.1 Расчетные формулы для выбора мощности инвертора

Для вычисления мощности инвертора требуется знать момент инерции на валу двигателя J . Прим.: Также момент инерции J необходим для достижения требуемого момента ускорения, момента в установившемся режиме и момент торможения

В разделе 1.1.1 выберите инвертор для двигателя соответствующей мощности и вычислите минимальное время ускорения и торможения.

В разделе 1.1.2 вычислите мощность тормозного резистора для уменьшения времени торможения

На что обратить внимание:

Асинхронный двигатель при питании от сети способен развить стартовый момент до 300% от номинального. В случае с инвертором той же мощности стартовый момент обычно составляет от 150 до 200% от номинального.

Следовательно, в некоторых случаях, описанных ниже, может потребоваться увеличение мощности инвертора или инвертора и двигателя.

- Когда, основываясь на выбранном двигателе, требуется стартовый момент 150% и более.
- Когда стартовый ток превышает ток защиты от перегрузок (к примеру, 150% в течение 2 минут для VFA7).
- Когда требуется слишком короткое время для ускорения.

Прим.: Для вычислений используйте единицы измерений в системе СИ.

Таблица 1. Переводные коэффициенты.

Название	Система единиц СИ	Система единиц МКС
Скорость вращения	Скорость вращения (мин ⁻¹)	Скорость вращения (об/мин)
Момент	9.8 (Н·м) [$M_{СИ} = 9.8 \times M_{МКС}$]	1 (кгс·м)
Момент инерции	$J = 1/4GD^2$ (кг·м ²)	GD^2 (кгс·м ²)

1.1.1 Расчет времени ускорения и торможения

а) Время ускорения

Выражение для t_a обычно используют при расчете времени ускорения двигателя. Время ускорения для инвертора должно быть больше, чем t_a .

$$t_a = \frac{(J_M + J_L) \times \Delta N}{9.56 \times (\alpha \times T_M - T_L)} \text{ (секунд)}$$

J_M : Момент инерции двигателя (кг·м²)

J_L : Момент инерции нагрузки (переведенное в значение для вала двигателя) (кг·м²)

ΔN : Разница в скорости до и после ускорения (торможения) (мин⁻¹)

T_L : Момент нагрузки (Н·м)

T_M : Номинальный крутящий момент двигателя (Н·м)

α : Максимальный мгновенный момент, создаваемый инвертором (1.2 ~ 1.5 для режима управления V/f = константа, 1.5 ~ 2.0 для векторного управления).

Максимальные значения α :

Серия/мощность	V/f = константа	Векторное управление
VFnC1	1.2~1.5	1.5~2.0
VFS9	1.2~1.5	1.5~2.0
VFA7 малой и средней мощности	1.2~1.5	1.5~2.0
VFA7 большой мощности	1.2~1.5	1.5~1.8
VFP7 средней мощности	1.2	1.5
VFP7 большой мощности	1.2	1.5

$$\text{Момент нагрузки} : T_L = \frac{9549 \times P_L}{N} \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

Мощность на валу двигателя: P_L (кВт)

Скорость вращения вала двигателя: N (мин⁻¹)

Если $t_a < 0$ в вышеприведенных уравнениях, то мощность двигателя недостаточна.

Если t_a требуется уменьшить, то необходимо увеличить мощность двигателя и, соответственно, мощность инвертора.

На что обратить внимание:

Если время ускорения инвертора меньше t_a двигателя, возможно срабатывание функции предотвращения останова по аварии или защиты от перегрузки по току.

Механизмы с относительно малым моментом инерции:

Насосы, тихоходные конвейеры, как правило, со скоростью до 5 м/сек.

Механизмы с относительно большим моментом инерции:

Вентиляторы, воздуходувки, центробежные сепараторы, быстроходные конвейеры (>5 м/сек), дробилки, прессы и смесители.

б) Время торможения

Выражение для t_b обычно используют при расчете времени торможения двигателя. Время торможения для инвертора должно быть больше, чем t_b .

$$t_b = \frac{(J_M + J_L) \times \Delta N}{9.56 \times (\beta \times T_M + T_L)} \text{ (секунд)}$$

J_M : Момент инерции двигателя (кг·м²)

J_L : Момент инерции нагрузки (переведенное в значение для вала двигателя) (кг·м²)

ΔN : Разница в скорости до и после ускорения (торможения) (мин⁻¹)

T_L : Момент нагрузки (Н·м)

T_M : Номинальный крутящий момент двигателя (Н·м)

β : Без тормозного резистора принимается 0.1 ~ 0.3 (Прим. 2.)

При использовании стандартного опционального тормозного резистора: 0.8.

При использовании тормозного резистора с минимальным допустимым сопротивлением: 1.0 ~ 1.5.

Прим. 2:

Торможение только с помощью инвертора (без тормозного резистора) рассчитывается, исходя из потерь в двигателе, потерь в инверторе и допустимой для силовой части инвертора регенерируемой энергии:

$$\beta = 1 - \left(\frac{P_M \times P_{INV} \times \text{Мощность двигателя} + \chi}{\text{Мощность двигателя}} \right)$$

P_M : Потери в двигателе = (1 - к.п.д. двигателя) × Мощность двигателя

P_{INV} : Потери в инверторе

$$\chi = \frac{1}{2} \times C \times (V_2^2 - V_1^2)$$

C : Емкость конденсатора в силовой цепи инвертора

V_2 : Уровень срабатывания защиты от аварии по перенапряжению
Для 200В систем - 360В, для 400В систем - 720В.

V_1 : = Входное напряжение × $\sqrt{2}$

Таким образом, для инверторов различной мощности, β составляет:

$$0,1 \sim 3,7 \text{ кВт} \rightarrow \beta = 0,3 \sim 0,2$$

$$5,5 \sim 55 \text{ кВт} \rightarrow \beta = 0,15 \sim 0,1$$

$$75 \text{ кВт} \rightarrow \beta = 0,1$$

На что обратить внимание:

Если время торможения для инвертора установлено меньше t_b двигателя, действительное время торможения может быть больше, чем время торможения t_b , полученное из вышеприведенного уравнения или возможно срабатывание функции защиты от перенапряжения.

Если двигатель требуется остановить за меньшее время, чем t_b , подключите опциональный тормозной резистор, позволяющий инвертору рассеивать генерируемую двигателем энергию. (О выборе тормозного резистора см. ниже.)

1.1.2 Выбор тормозных резисторов

Когда требуется повышенный тормозной момент при большом моменте инерции нагрузки, подключите тормозной резистор, позволяющий инвертору рассеивать генерируемую двигателем энергию.

При использовании опционального тормозного резистора момент торможения достигает 80% от номинального момента.

При использовании тормозного резистора с минимальным допустимым сопротивлением момент торможения достигает 100 ~ 150% от номинального момента.

* Если тормозной резистор не используется:

Мощность инвертора	Тормозной момент
0.1 ~ 3.7 кВт	30% ~ 20%
5.5 ~ 55 кВт	15% ~ 10%
75 кВт ~	10%

Ниже показаны уравнения для расчета мощности тормозного резистора.

T_b : Момент торможения (Н·м)

T_L : Момент нагрузки (Н·м)

η : К.п.д. механизма

N_1 : Скорость до торможения (мин⁻¹)

N_2 : Скорость после торможения (мин⁻¹)

Требуемый тормозной момент: $T_B = T_b - \eta \times T_L$ (Н·м)

Генерируемая электрическая энергия: $P_B = \frac{T_B \times (N_1 + N_2)}{9555} \times \frac{1}{2}$ (кВт)

Среднее по времени значение генерируемой электрической энергии:

$$\bar{P}_B = P_B \times \% ПВ \text{ (кВт)}$$

$$(\% ПВ = \frac{tb}{ts})$$

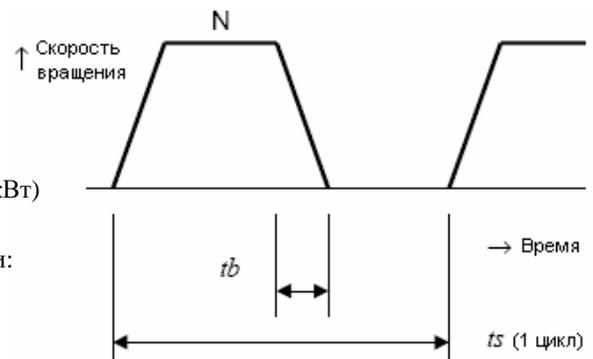


Рис. Рабочий цикл

Сопротивление: $R \leq \frac{(Vdc)^2}{0.105 \times T_B \times (N_1 - N_2)} \times \frac{1}{1.2}$ (Прим. 3)

$Vdc = 360V$ для 200V систем, $720V$ для 400V систем

Мощность тормозного резистора P_R (кВт) выбирается исходя из условий $P_R > \bar{P}_B$ и $P_R \times 5 > P_B$.

При выборе тормозного резистора уменьшите номинал, полученный из вышеуказанных условий в 1,5 раза.

Если по расчетам мощность резистора стандартного тормозного блока недостаточна, то ее нужно увеличить, не изменяя сопротивление резистора.

Прим. 3:

Сопротивление тормозного резистора не должно быть меньше минимально допустимого значения (См. приложение 3)

Если резистор внешний, то необходимо последовательно с ним подключить термореле, выбираемое следующим образом:

Ток через резистор:	$I_s = \frac{V_s \times 1.1 \times \sqrt{2}}{R}$	V_s : Напряжение источника питания
		R : Сопротивление
Отношение рассеиваемой мощности к номинальной мощности резистора:	$B = \frac{V_0^2 / R}{W_R}$	V_0 : Уровень срабатывания защиты от перенапряжения: 380V для 200V систем 760V для 400V систем
		W_R : Мощность резистора

Пример: Резистор 160 Ом – 240 Вт.

$$I_s = \frac{440 \times 1.1 \times \sqrt{2}}{160} = 4.28 \text{ (A)}$$

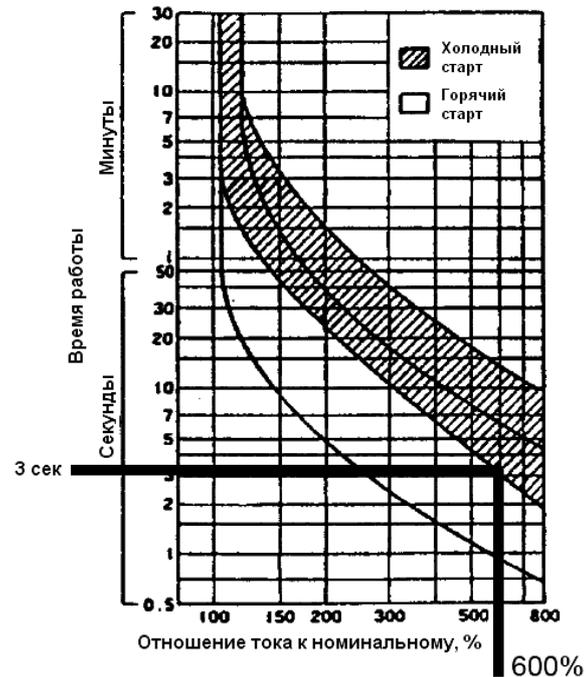
$$B = \frac{760^2 / 160}{240} = 15 \text{ (раз)}$$

При $B = 15$ выбирайте термореле, рассчитанное на отключение через 3 секунды (См. допустимое время включения резистора) при данном расчетном токе (4,28 А). Для этого обратитесь к рабочей характеристике термореле.

Допустимая продолжительность включения резистора зависит от отношения рассеиваемой мощности к номинальной мощности резистора и от типа резистора.

Ориентировочные значения приведены в таблице:

Время включения	B
1 сек.	26
2 сек.	20
3 сек.	16
4 сек.	14
5 сек.	13
10 сек.	10
30 сек.	6
1 мин.	4.5
3 мин.	2
5 мин.	1.5
10 мин.	1.2
15 мин.	1.1



Пример рабочей характеристики термореле, соответствующего приведенному примеру (ном. ток 0,7А).

1.2 Процедура выбора мощности инвертора

При выборе мощности инвертора следуйте описанной ниже процедуре, чтобы подтвердить соответствие каждого значения спецификации двигателя и возможностям инвертора.

Необходимо рассчитать:

- Момент нагрузки
- Момент инерции
- Момент ускорения
- Момент торможения (Выбор тормозного резистора: раздел 1.1.2.)

1.2.1 Соответствие момента нагрузки и мощности двигателя

Предварительно выберите мощность двигателя по моменту нагрузки.

Если выбор уже сделан, подтвердите, что номинальный момент двигателя превышает момент нагрузки на валу двигателя.

$$\text{Момент нагрузки на валу двигателя: } (T_L) < \frac{9549 \times P_M}{N} \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

$$\text{Предварительно выбранная мощность двигателя: } (P_M) > \frac{T_L \times N}{9549} \text{ (кВт)}$$

P_M : Номинальная выходная мощность двигателя (кВт)

N : Номинальная скорость вращения двигателя (мин^{-1})

$$T_L : \text{Момент нагрузки} \times \frac{N_L}{N_M} \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

N_L : Скорость со стороны нагрузки

N_M : Скорость со стороны двигателя

Если неравенства не выполняются, мощность двигателя недостаточна.

1.2.2 Соответствие момента инерции

Общий момент инерции складывается из момента инерции двигателя (J_M) и момента инерции нагрузки, приведенного к валу двигателя (J_L).

Прим.: Если механизм нагрузки непосредственно связан с валом двигателя, перевод момента инерции в значение, приведенное к валу двигателя, не требуется.

Если двигатель питается от промышленной сети, то обычно необходимо, чтобы суммарный момент инерции не превышал максимально допустимый для двигателя J . Однако, при работе от инвертора возможно значительное увеличение времени ускорения (торможения) с помощью соответствующих настроек.

Метод перевода в значения, приведенные к валу двигателя:

Момент инерции, приведенный к валу двигателя: $J = \left(\frac{N_L}{N_M}\right)^2 \times J_L = \left(\frac{r1}{r2}\right)^2 \times J_L$ (кг·м²)

J_L : Момент инерции нагрузки

N_L : Скорость со стороны нагрузки

N_M : Скорость со стороны двигателя

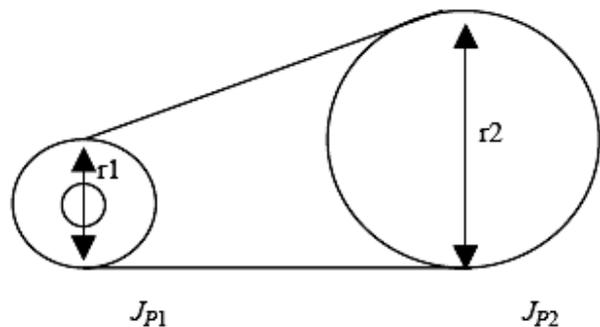
$r1$: Диаметр шкива на валу двигателя

$r2$: Диаметр шкива на валу нагрузки

J_M : Момент инерции двигателя

J_{P1} : Момент инерции шкива на валу двигателя

J_{P2} : Момент инерции шкива на валу нагрузки



Момент инерции = $J_M + J_{P1} + \left(\frac{N_L}{N_M}\right)^2 \times J_{P2} = J_M + J_{P1} + \left(\frac{r1}{r2}\right)^2 \times J_{P2}$ (кг·м²)

1.2.3 Соответствие момента ускорения

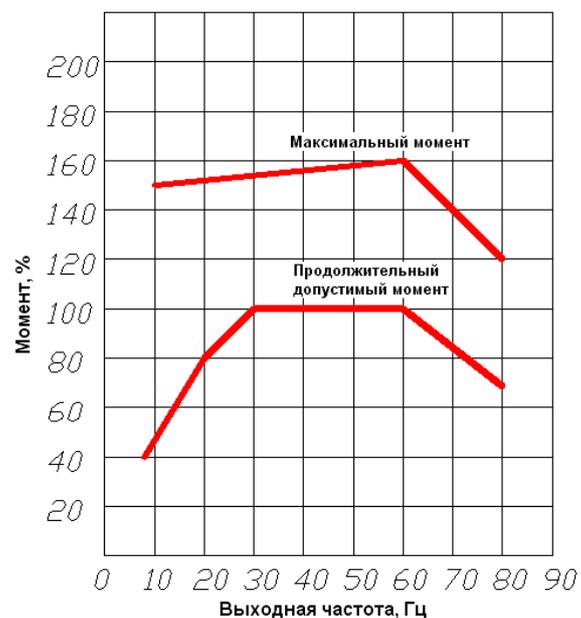
При работе двигателя вкуче с инвертором максимальный мгновенный момент может быть:

В режиме V/f=константа: примерно 120 ~ 150%

В режиме векторного управления: примерно 150 ~ 200%

(Прим.: максимальный мгновенный момент изменяется в зависимости от серии и мощности инвертора)

Пример работы в режиме V/f=константа,
базовая частота 60 Гц.
Стандартный двигатель, 200В – 3,7кВт.



Поэтому, если указывается время ускорения, то:

$$\text{Ном. момент двигателя (Н·м)} \geq \left(\frac{\sum J \times N}{9.56 \times ta} + T_L \right) \times \frac{1}{\alpha}$$

$\sum J$: Момент инерции, приведенный к валу двигателя (кг·м²)

N : Скорость (мин⁻¹)

ta : Время ускорения (сек)

T_L : Момент нагрузки на валу двигателя (Н·м)

α : Коэффициент (1,2~1,5 для режима V/f=константа, 1,5~2,0 для векторного управления)

Если неравенство не выполняется, мощность двигателя недостаточна или время ускорения слишком мало.

1.2.4 Соответствие момента торможения

Момент торможения при работе от инвертора:

- Без тормозного резистора

Мощность инвертора	Тормозной момент
0.1 ~ 3.7 кВт	30% ~ 20%
5.5 ~ 55 кВт	15% ~ 10%
75 кВт ~	10%

- При использовании опционального тормозного резистора - 80% от номинального момента.
- При использовании тормозного резистора с минимальным допустимым сопротивлением - 100 ~ 150% от номинального момента. (О максимальном моменте торможения (β -коэффициент) см. Приложение 3.)

Поэтому, если указывается время торможения, то:

$$\text{Ном. момент двигателя (Н·м)} \geq \left(\frac{\sum J \times N}{9.56 \times tb} - T_L \right) \times \frac{1}{\beta}$$

$\sum J$: Момент инерции, приведенный к валу двигателя (кг·м²)

N : Скорость (мин⁻¹)

tb : Время торможения (сек)

T_L : Момент нагрузки на валу двигателя (Н·м)

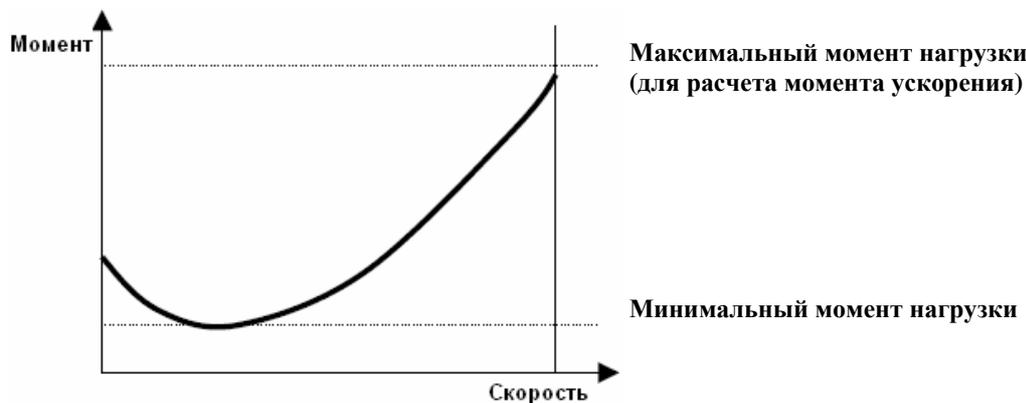
β : Коэффициент (Без тормозного резистора: 0,1 ~ 0,3; стандартный тормозной резистор: 0,8; тормозной резистор с минимально допустимым сопротивлением: 1,0 ~ 1,5)

Если используется тормозной резистор, обратитесь к разделу 1.1.2 для расчета его мощности.

Если неравенство не выполняется, мощность двигателя недостаточна или время торможения слишком мало.

На что обратить внимание:

Минимальный момент нагрузки (T_L) для расчетов определяется по кривой изменения момента.



* Если известен только максимальный момент нагрузки при 100% скорости, момент нагрузки можно рассчитать следующим образом:

$$T_L acc = N^{(1+X)} \times T_L$$

$T_L acc$: Момент инерции для расчета времени ускорения (если момент инерции превышает допустимый для двигателя, то $T_L acc = T_L$).

N : Отношение действительной скорости к максимальной (для скорости 30Гц: 30Гц/60Гц=0,5)

X : Коэф. снижения (2 для квадратичной характеристики нагрузки)

$$T_L dec = N^{(1+X)} \times T_L$$

$T_L dec$: Момент инерции для расчета времени торможения

N : Отношение действительной скорости к максимальной (для скорости 30Гц: 30Гц/60Гц=0,5)

X : Коэф. снижения (2 для квадратичной характеристики нагрузки)

1.2.5 При малом времени ускорения/торможения или стартовом моменте более 150%

Если требуется обеспечить малое время ускорения или стартовый момент более 150%, то добиться этого можно только увеличением мощности инвертора.

В разделе 1.2.3 или 1.2.4 увеличьте номинальный момент двигателя на одну ступень (мощность инвертора также должна быть увеличена) и проверьте соответствие неравенства.

Пример: В разделе 1.2.1 и 1.2.2 мощность двигателя выбрана равной 2,2 кВт.

Примите для правой части номинальный момент двигателя мощностью 3,7 кВт в разделах 1.2.3 и 1.2.4

$$T_M y = T_M \times \frac{P_R y}{P_R} \text{ (Н·м)}$$

$T_M y$: Ном. момент, увеличенный на одну ступень

$P_R y$: Мощность двигателя, увеличенная на одну ступень

Однако, момент нагрузки при нормальных условиях должен быть в пределах номинального момента используемого двигателя.

1.2.6 Расчет минимального времени ускорения/торможения

Минимальное время ускорения/торможения будет достигнуто с нижеследующими значениями, рассчитанными в предыдущем разделе:

- Момент инерции двигателя (J_M)
- Момент инерции нагрузки на валу двигателя (J_L)
- Номинальный момент двигателя (T_M)
- Разность скоростей вращения (ΔN)
- Момент нагрузки на валу двигателя (T_L)

(Для установки времени ускорения/торможения инвертора используйте значения, вычисленные ниже или большие)

Установка времени ускорения:

При установке меньшего значения, чем получено в расчетах времени ускорения, возможна активация защиты от перегрузки по току или функции предотвращения аварии по перегрузке по току.

Установка времени торможения:

При установке меньшего значения, чем получено в расчетах времени торможения, возможна активация защиты от перенапряжения или функции предотвращения аварии по перенапряжению.

$$\text{Минимальное время ускорения } t_a = \frac{(J_M + J_L)}{9.56 \times (\alpha \times T_M - T_L)}$$

α : коэффициент (1,2 ~ 1,5 для режима управления V/f=константа, 1,5 ~ 2,0 для векторного режима управления)

$$t_b = \frac{(J_M + J_L) \times \Delta N}{9.56 \times (\beta \times T_M + T_L)}$$

β : Без тормозного резистора принимается $\beta = 0.1 \sim 0.3$

При использовании стандартного опционального тормозного резистора: $\beta = 0.8$.

При использовании тормозного резистора с минимальным допустимым сопротивлением: $\beta = 1.0 \sim 1.5$

Если увеличивается только мощность инвертора на одну ступень, примите T_M равным номинальному моменту двигателя мощностью, увеличенной на одну ступень.

1.2.7 Выбор инвертора

После проверки условий в разделах 1.2.1 ~ 1.2.5 выберите инвертор.

Что для этого необходимо:

Входное напряжение инвертора

Число входных фаз инвертора

Напряжение питания двигателя

Мощность двигателя (использована для расчетов в разделах 1.2.1~1.2.5)

Тип инвертора:

Например, VF-S9-2022PL

VF	S9	S	-	2	022	P	L
	Название серии A7: Высоко-производительный P7: Для вентиляторов и насосов S9 (S11): Универсальный и компактный nC1: Ультракомпактный	Число входных фаз -: Три фазы S: Одна фаза Прим.1:		Входное напряжение 1: 100В 2: 200В 4: 400В	Мощность инвертора 001: 0,1кВт 002: 0,2кВт 004: 0,4кВт 007: 0,75кВт 015: 1,5кВт 022: 2,2кВт 037: 3,7 кВт 055: 5,5кВт 075: 7,5кВт 110: 11кВт 150: 15кВт 220: 22кВт 300: 30кВт 370: 37кВт 450: 45кВт 550: 55кВт 750: 75кВт 900: 90кВт 110К: 110кВт 132К: 132кВт 160К: 160кВт 200К: 200кВт 220К: 220кВт 280К: 280кВт 315К: 315кВт Прим.1:	Панель управления P: с панелью P1: с панелью *VFA7-37кВт или более	Дополнительные функции M: Встроенный стандартный фильтр L: Встроенный ЕМС фильтр Прим.1:

Обратите внимание:

- Разные серии имеют отличия в классификации.
- Если требуется тормозной резистор, обратитесь к разделу 1.1.2.
- В VFnC1 не предусмотрено подключение тормозного резистора.

1.3 Пример расчета мощности (вентилятор)

Время ускорения/торможения рассчитаны, исходя из нижеследующих условий.
(используется система единиц СИ)

Вентилятор:

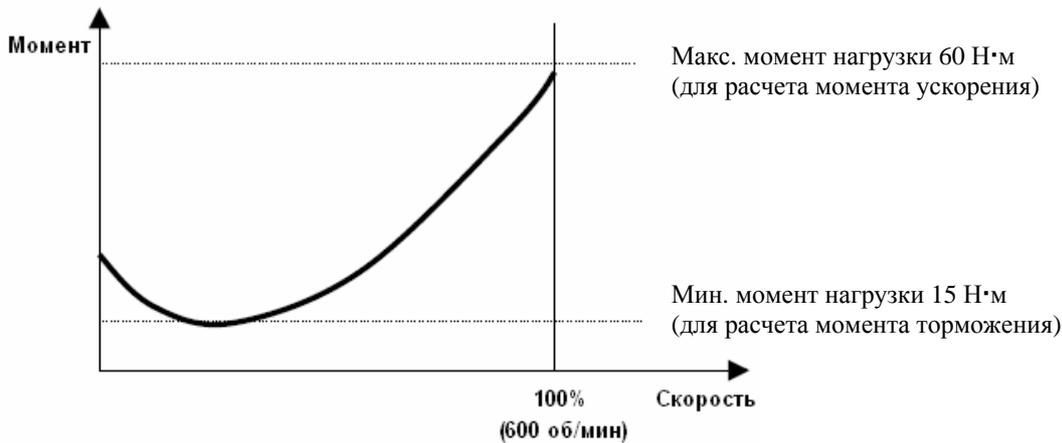
Мощность двигателя: 400В 3,7кВт-4 полюса-60Гц

Синхронная скорость: $120 \times 60 \text{Гц} / 4 = 1800 \text{ (мин}^{-1}\text{)}$

Момент инерции двигателя J : $0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Ном. момент двигателя: $3,7 \text{ кВт} \times 9549 / 1710 \text{ мин}^{-1} = 20,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

Кривая нагрузки вентилятора:



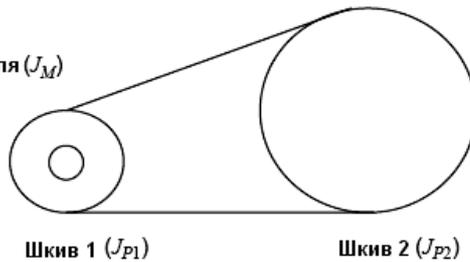
Момент инерции:

Момент инерции нагрузки: $15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Шкив 1: $0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Шкив 2: $2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Вал двигателя (J_M)



1. Момент на валу двигателя (максимальный) $= 60 \text{ Н} \cdot \text{м} \times \frac{600 \text{ мин}^{-1}}{1800 \text{ мин}^{-1}} = 20 [\text{Н} \cdot \text{м}] \leq 20,7$
2. Момент на валу двигателя (минимальный) $= 15 \text{ Н} \cdot \text{м} \times \frac{600 \text{ мин}^{-1}}{1800 \text{ мин}^{-1}} = 5 [\text{Н} \cdot \text{м}] \leq 20,7$
3. Момент инерции $= 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 + 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 + \left(\frac{600 \text{ мин}^{-1}}{1800 \text{ мин}^{-1}} \right) \times (2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 + 15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2) = 2,46 [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$

Минимальное время ускорения/торможения:

$$\text{Мин. время ускорения} = \frac{2,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9,56 \times (1,2 \times 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} - 20 \text{ Н} \cdot \text{м})} = 95,7 [\text{сек}] \text{ для } V/f = \text{константа.}$$

$$\text{Мин. время ускорения} = \frac{2,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9,56 \times (1,5 \times 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} - 20 \text{ Н} \cdot \text{м})} = 41,9 [\text{сек}] \text{ для векторного управления.}$$

$$\text{Мин. время торможения} = \frac{2,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9,56 \times (0,2 \times 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} + 5 \text{ Н} \cdot \text{м})} = 50,7 [\text{сек}] \text{ торможение только инвертором.}$$

$$\text{Мин. время торможения} = \frac{2,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9,56 \times (0,8 \times 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} + 5 \text{ Н} \cdot \text{м})} = 21,5 [\text{сек}] \text{ стандартный тормозной резистор.}$$

$$\text{Мин. время торможения} = \frac{2,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9,56 \times (1,0 \times 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} + 5 \text{ Н} \cdot \text{м})} = 18,0 [\text{сек}] \text{ тормозной резистор с минимально}$$

допустимым сопротивлением.

Примечание:

Минимальное время торможения инвертором:

VFS9-4037PL : 50,7 сек.

VFA7-4037PL : 21,5 сек (благодаря встроенному тормозному резистору)

В случае использования тормозного резистора (с минимально допустимым сопротивлением):

$$\text{Момент торможения} = \left(\frac{J \times N}{9,56 \times tb} - T_L \right) = \frac{2,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9,56 \times 18 \text{ сек}} - 5 \text{ Н} \cdot \text{м} = 20,7 [\text{Н} \cdot \text{м}]$$

$$\text{Требуемый момент торможения } T_B = T_b - \eta \times T_L = 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} - 0,95 \cdot 5 \text{ Н} \cdot \text{м} = 15,95 [\text{Н} \cdot \text{м}]$$

$$\text{Регенерируемая электрическая энергия } P_B = \frac{T_B \times (N_1 + N_2)}{9555} \times \frac{1}{2} = \frac{15,95 \text{ Н} \cdot \text{м} \times 1800 \text{ мин}^{-1}}{9555} \times \frac{1}{2} = 1,50 [\text{кВт}]$$

$$\text{Среднее по времени значение регенерируемой электрической энергии } \bar{P}_B = P_B \times \% ПВ = 1,50 \times 0,1 = 0,150 [\text{кВт}]$$

$$(\% ПВ = \frac{tb}{ts} = 0,1) \dots \text{Если цикл работы довольно продолжительный}$$

$$\text{Мощность тормозного резистора} = 5 \times 0,150 = 0,75 [\text{кВт}]$$

$$\text{Сопротивление: } R \leq \frac{(V_{dc})^2}{0,105 \times T_B \times N} \times \frac{1}{1,2} = 110,4 [\text{Ом}]$$

Таким образом, параметры тормозного резистора будут следующими:

- Мощность - 750Вт или более;
- Сопротивление – 110,4 Ом или менее

Минимальное допустимое сопротивление для VFS9-4037PL: 73 Ом
для VFA7-4037PL: 40 Ом

2. Выбор мощности двигателя

Этот раздел описывает различные выражения для расчета и выбора мощности двигателя, основываясь на которой, выбирается мощность инвертора.

2.1 Формулы для двигателя

1. Расчет скорости вращения двигателя

$$\text{Синхронная скорость } N_s = \frac{120 \times f}{p} \text{ (мин}^{-1}\text{)}$$

f : Частота напряжения питания (Гц)

p : Число пар полюсов

$$\text{Скорость вращения при полной нагрузке } N = N_s (1 - S) \text{ (мин}^{-1}\text{)}$$

S : Скольжение (%)

2. Момент

$$\text{Момент при полной нагрузке } T = \frac{9545 \times P_M}{N}$$

P_M : мощность двигателя (кВт)

3. Выходная мощность

$$P_M = \frac{T \times N}{9545} \text{ (кВт)}$$

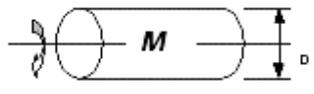
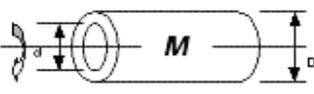
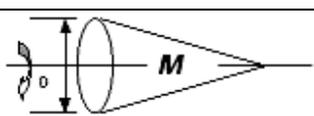
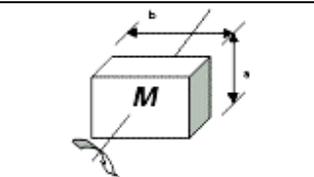
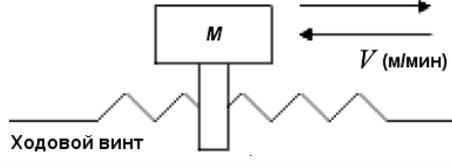
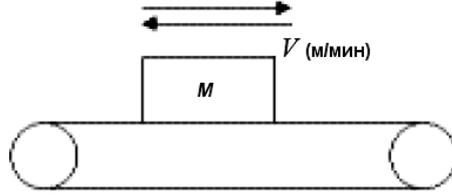
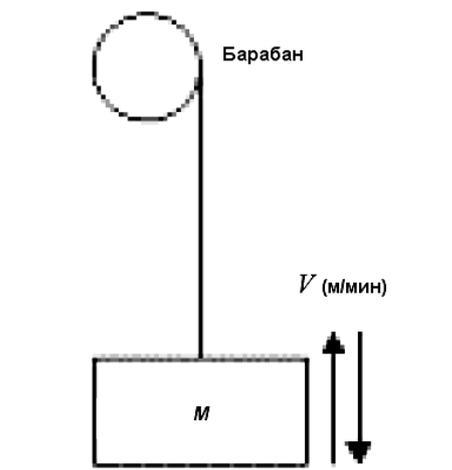
4. Время запуска

$$t = \frac{\sum J \times N}{9545 \times T_a} \text{ (сек)}$$

T_a : Момент ускорения = (Момент двигателя) – (момент нагрузки) (Н•м)

$\sum J$: Момент инерции ($J_{\text{двиг}} + J_{\text{нагр}}$ (приведенный к валу двигателя))

2.2 Формулы для расчета момента инерции

Вид объекта	Уравнение	Примечание
Цилиндр 	$J = \frac{MD^2}{8} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	(1) M = Масса объекта (кг) Линейные размеры в метрах
Полый цилиндр 	$J = \frac{M(D^2 + d^2)}{8} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	(2) J – момент инерции относительно показанной на рисунке оси вращения. Для приведения момента инерции к валу двигателя используйте формулу:
Конус 	$J = \frac{3MD^2}{40} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	$J = \left(\frac{N_L}{N_M} \right)^2 \times J_L (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$
Куб 	$J = \frac{M(a^2 + b^2)}{12} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	
Прямолинейное движение При прямолинейном движении тела массой M со скоростью V (м/мин) скорость вращения двигателя N_M (мин ⁻¹)	$J = \frac{M}{4} \left(\frac{V}{\pi \cdot N_M} \right)^2 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	(1) M = Масса объекта (кг) V = скорость прямолинейного движения (м/мин) N_M = Скорость вращения двигателя (мин ⁻¹) $\pi = 3,14 \dots$
Прямолинейное движение, ходовой винт 		(2) J – момент инерции на валу двигателя
Прямолинейное движение, ленточный конвейер 		(3) Момент инерции таких объектов как ходовой винт, шкивы, лента конвейера и барабан не учитывался.
Прямолинейное движение, кран или лебедка 		

2.3 Расчет необходимой мощности двигателя

КРАН

А. Подъем.

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = \frac{M \cdot V}{6,12 \cdot \eta}$$

M : Общая поднимаемая масса (груз + трос с крюком) (т)

V : Скорость подъема (м/мин)

η : К.п.д. механизма

Приблизительная оценка:

Одноступенчатый редуктор: 0,95 ~ 0,85

Двухступенчатый редуктор: 0,9 ~ 0,7

Однотупенчатый червячный редуктор: 0,5

Б. Передвижение.

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = \frac{K \cdot (M + M_1) \cdot V}{6,12 \cdot \eta \cdot 1000}$$

M : Общий поднимаемый вес (груз + трос с крюком) (т)

M_1 : Вес тележки, собственный вес крана (т)

V : Скорость (м/мин)

K : Сопротивление качению

Для потолочного крана- балки

с подшипником качения – 7 кг/т

с подшипником скольжения – 12 кг/т

η : К.п.д. механизма (см. выше)

НАМОТОЧНАЯ МАШИНА

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = \frac{(M + M_t + M_r) \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cdot 2\pi n R}{6,12 \cdot \eta}$$

M : Нагрузка (кг)

M_t : Масса тележки (кг)

M_r : Неуравновешенная масса проволоки (кг)

R : Радиус намоточного барабана (м)

n : Скорость вращения намоточного барабана (мин⁻¹)

α : Угол направления намотки к горизонтали

μ : Коэффициент трения (0,015 ~ 0,03)

η : К.п.д. механизма

ЛИФТ (ПОДЪЕМНИК)

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = \frac{K \cdot M \cdot V \cdot F}{6,12 \cdot \eta \cdot 1000}$$

M : Максимальная масса нагрузки (кг)

V : Скорость подъема (м/мин)

F : Степень уравновешенности нагрузки (0,5 ~ 0,6)

K : Коэффициент, учитывающий ускорение/торможение лифта (1,3 ~ 1,5)

η : К.п.д. механизма

Шестеренчатый редуктор: 0,45 ~ 0,55

Бесшестеренчатый редуктор: 0,75 ~ 0,8

НАСОС

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = (1,1 \sim 1,2) \frac{Q \cdot H}{6.12 \times \eta}$$

Q : Расход (м³/мин)
 H : Напор (м)
 η : К.п.д. насоса

ВОЗДУШНЫЙ КОМПРЕССОР

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = \frac{5.83Q(P^{0.286} - 1)}{9.80665 \times 10^{-2} \times \eta}$$

Q : Расход воздуха (м³/мин)
 P : Давление на выходе компрессора (МПа)
 η : К.п.д. компрессора
 Маломощный воздушного охлаждения 0,5 ~ 0,8
 Средней мощности водяного охлаждения 0,7 ~ 0,85
 (Для выходного давления 0,69МПа)

ВОЗДУХОДУВКА

$$\text{Необходимая мощность (кВт)} = \frac{K \cdot Q \cdot H}{6120 \times \eta \times 133.322}$$

Q : Расход воздуха (м³/мин)
 H : Давление воздуха (Па)
 η : К.п.д. воздуходувки
 K : Коэффициент

Тип	η	K
Пропеллерный вентилятор	0,5 ~ 0,75	1,3
Центробежный открытый вентилятор	0,45 ~ 0,55	1,20 ~ 1,30
Турбовентилятор, 500 л.с. (375 кВт) или более	0,65 ~ 0,75	1,15 ~ 1,25
Турбовентилятор, менее 500 л.с. (375 кВт)	0,6 ~ 0,7	1,15 ~ 1,25
Одноступенчатая турбовоздуходувка	0,6 ~ 0,75	1,10 ~ 1,20
Многоступенчатая турбовоздуходувка	0,55 ~ 0,7	1,10 ~ 1,20

2.4 Падение напряжения

Падение напряжения на медных проводах.

Сечение проводов должно быть выбрано таким образом, чтобы падение напряжения на них не превышало 2% стандартного напряжения питания.

Падение напряжения (1 фаза) $e = \frac{35.6 \times L \times I}{1000 \times A}$

Падение напряжения (3 фазы) $e = \frac{30.8 \times L \times I}{1000 \times A}$

A: сечение провода (мм²)

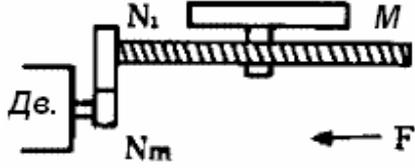
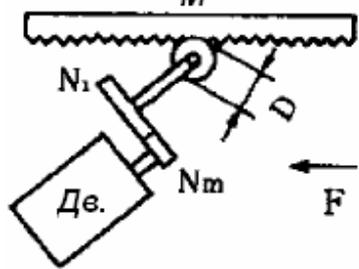
L: длина провода (м)

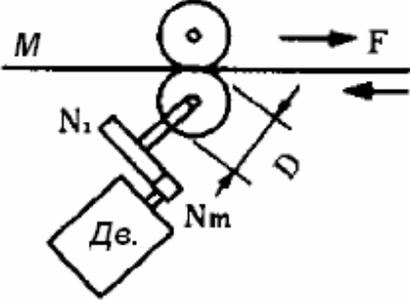
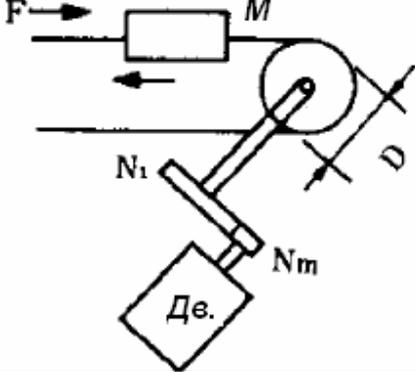
I: ток (А)

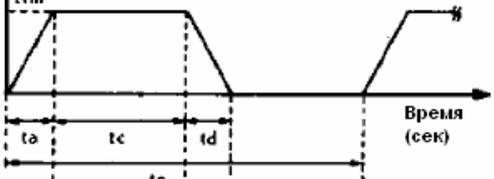
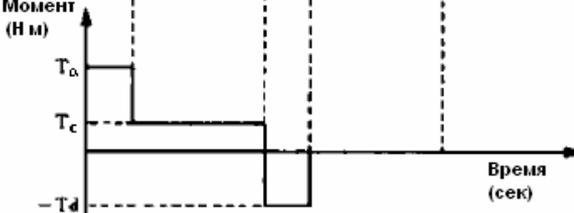
2.5 Расчет мощности двигателя с регулируемой скоростью

Ниже приведены формулы для расчета мощности двигателя с регулируемой скоростью для следующих механизмов:

- привод с шариковой винтовой парой
- механизм реечной передачи
- вальцовая подача
- цепная передача

		Привод с шариковой винтовой парой	Механизм реечной передачи
Механизм			
Передаточное отношение $\frac{1}{R}$		$\frac{1}{R} = \frac{N_1}{N_m}$	$\frac{1}{R} = \frac{N_1}{N_m}$
Момент нагрузки на валу двигателя T^L [Н·м]		$T^L = 9.8 \left\{ \frac{1}{R} \cdot \frac{F + \mu M}{2\pi\eta} \right\} \cdot l$	$T^L = 9.8 \left\{ \frac{1}{R} \cdot \frac{F + \mu M}{2\pi\eta} \right\} \cdot \pi D$
Момент инерции нагрузки, приведенный к валу двигателя	Основной момент инерции нагрузки	$J_o = \frac{1}{4} \left\{ M \cdot \left(\frac{l}{\pi} \cdot \frac{1}{R} \right)^2 \right\}$	$J_o = \frac{1}{4} \left\{ M \cdot \left(D \frac{1}{R} \right)^2 \right\}$
	Дополнительные моменты инерции	$J_1 = (J_B + J_{III}) \left(\frac{1}{R} \right)^2$ <i>J_B и J_{III} - моменты инерции винта и ведомой шестерни</i>	$J_1 = J_{III} \left(\frac{1}{R} \right)^2$ <i>J_{III} - момент инерции ведомой шестерни</i>
		<i>J₂ - момент инерции ведущей шестерни</i>	<i>J₂ - момент инерции ведущей шестерни</i>
Суммарный момент инерции		$\sum J = J_o + J_1 + J_2$	$\sum J = J_o + J_1 + J_2$

		Вальцовая подача	Цепная передача
Механизм			
Передаточное отношение $\frac{1}{R}$		$\frac{1}{R} = \frac{N_1}{N_m}$	$\frac{1}{R} = \frac{N_1}{N_m}$
Момент нагрузки на валу двигателя T^L [Н·м]		$T^L = 9,8 \left\{ \frac{1}{R} \cdot \frac{F \cdot D}{2\eta} \right\}$	$T^L = 9,8 \left\{ \frac{1}{R} \cdot \frac{F + \mu M}{2\pi\eta} \right\} \cdot \pi D$
Момент инерции нагрузки, приведенный к валу двигателя	Основной момент инерции нагрузки	$J_0 = \frac{1}{4} \left\{ M \cdot \left(D \frac{1}{R} \right)^2 \right\}$	$J_M = \frac{1}{4} \left\{ M \cdot \left(D \frac{1}{R} \right)^2 \right\}$
	Дополнительные моменты инерции	$J_1 = (J_p + J_{ш}) \left(\frac{1}{R} \right)^2$ J_p и $J_{ш}$ - моменты инерции ролика и ведомой шестерни	$J_1 = (M_{ц} D^2 + J_{ш}) \left(\frac{1}{R} \right)^2$ J_3 - момент инерции цепи и ведомой шестерни
		J_2 - момент инерции ведущей шестерни	J_2 - момент инерции ведущей шестерни
	Суммарный момент инерции	$\sum J = J_0 + J_1 + J_2$	$\sum J = J_0 + J_1 + J_2$
Примечания		<p>D: Диаметр ролика (звездочки) (м) M: Масса прямолинейно движущихся частей (кг) N_m: Скорость вращения двигателя (мин⁻¹) N_i: Скорость вращения нагрузки (мин⁻¹) F: Внешняя сила (кг) μ: Коэффициент трения η: К.п.д. l: шаг винта (м)</p>	

Требуемый момент ускорения T_a [Н·м]	$T_a = \frac{(\sum J + J_M) \times Nm}{9.56 \times ta} + T^L$
Требуемый момент торможения T_d [Н·м]	$T_d = \frac{(\sum J + J_M) \times Nm}{9.56 \times td} - T^L$
Средний действующий момент T_{cp} [Н·м]	<p>Скорость (об/мин)</p>  <p>Момент (Н·м)</p>  $T_{cp} = \sqrt{\frac{T_a^2 \times ta + T_c^2 \times tc + T_d^2 \times td}{to}}$ <p>Время (сек)</p>
Примечания	<p>J_M : Момент инерции двигателя (кг·м²) l : Шаг винта (м) ta : Время ускорения (сек) tc : Время работы с постоянной скоростью (сек) td : Время торможения (сек) to : Время цикла (сек)</p>

Приложение 1: Тормозные резисторы

Модель	Мощность (Вт)	Сопротивление (Ом)	Продолжительная регенерируемая мощность (Вт)	Конфигурация *)
PBR3-2055	240	20	96	120BT-40Ω 2P
PBR3-2075	440	15	130	220BT-30Ω 2P
PBR3-2110	660	10	200	220BT-30Ω 3P
PBR3-2150	880	7.5	270	220BT-30Ω 4P
PBR3-2220	1760	3.3	610	220BT-27Ω 8P
PBR3-4037	120	160	50	120BT-160Ω
PBR3-4055	240	80	96	120BT-160Ω 2P
PBR3-4075	440	60	130	220BT-120Ω 2P
PBR3-4110	660	40	190	220BT-120Ω 3P
PBR3-4150	880	30	270	220BT-120Ω 4P
PBR3-4220	1760	15	540	220BT-30Ω 4P2S
PBR-2007-5	120	200	-	120BT-200Ω
PBR-2022-5	120	75	-	120BT-75Ω
PBR-2037-5	120	40	-	120BT-40Ω
PBR-4037-5	120	160	-	120BT-160Ω
PBR202W100	240	100	120	120BT-200Ω 2P
PBR202W075	240	75	75	120BT-150Ω 2P
PBR202W040	240	40	48	120BT-80Ω 2P
PBR206W040	660	40	380	220BT-120Ω 3P
PBR208W100	880	100	570	220BT-400Ω 4P
PBR208W075	880	75	540	220BT-300Ω 4P
PBR208W040	880	40	570	220BT-160Ω 4P
PBR208W020	880	20	270	220BT-80Ω 4P
PBR208W015	880	15	130	220BT-60Ω 4P
PBR208W010	880	10	200	220BT-40Ω 4P
PBR211W100	1100	100	670	220BT-500Ω 5P
PBR211W075	1100	75	720	220BT-375Ω 5P
PBR211W040	1100	40	730	220BT-200Ω 5P
PBR211W020	1100	20	400	220BT-100Ω 5P
PBR211W015	1100	15	270	220BT-75Ω 5P
PBR211W010	1100	10	200	220BT-50Ω 5P
PBR217W100	1760	100	1220	220BT-200Ω 4P2S
PBR217W075	1760	75	1200	220BT-150Ω 4P2S
PBR217W040	1760	40	1160	220BT-80Ω 4P2S
PBR217W020	1760	20	950	220BT-160Ω 8P
PBR217W015	1760	15	840	220BT-120Ω 8P
PBR217W010	1760	10	470	220BT-80Ω 8P
PBR217W7R5	1760	7.5	270	220BT-60Ω 8P
PBR217W3R3	1760	3.3	610	220BT-27Ω 8P
PBR222W040	2200	40	1440	220BT-400Ω 10P
PBR222W020	2200	20	1310	220BT-200Ω 10P
PBR222W015	2200	15	1130	220BT-150Ω 10P
PBR222W010	2200	10	790	220BT-100Ω 10P
PBR222W7R5	2200	7.5	560	220BT-75Ω 10P
PBR222W3R3	2200	3.3	610	220BT-33Ω 10P
PBR222W002	2200	2	1000	220BT-20Ω 10P
PBR226W040	2640	40	1630	220BT-120Ω 6P2S
PBR226W020	2640	20	1580	220BT-60Ω 6P2S
PBR226W015	2640	15	1350	220BT-45Ω 6P2S
PBR226W010	2640	10	1250	220BT-30Ω 6P2S
PBR226W7R5	2640	7.5	870	220BT-90Ω 12P
PBR226W3R3	2640	3.3	610	220BT-40Ω 12P
PBR226W002	2640	2	1000	220BT-24Ω 12P
PBR233W040	3300	40	2250	220BT-600Ω 15P
PBR233W020	3300	20	2080	220BT-300Ω 15P
PBR233W015	3300	15	2080	220BT-150Ω 15P

PBR233W010	3300	10	1760	220BT-150Ω 15P
PBR233W7R5	3300	7.5	1380	220BT-113Ω 15P
PBR233W3R3	3300	3.3	610	220BT-50Ω 15P
PBR233W002	3300	2	1000	220BT-30Ω 15P
PBR235W040	3520	40	2250	220BT-160Ω 8P2S
PBR235W020	3520	20	2330	220BT-80Ω 8P2S
PBR235W015	3520	15	2080	220BT-60Ω 8P2S
PBR235W010	3520	10	1960	220BT-40Ω 8P2S
PBR235W7R5	3520	7.5	1660	220BT-30Ω 8P2S
PBR235W3R3	3520	3.3	610	220BT-53Ω 16P
PBR252W015	5280	15	3330	220BT-90Ω 12P2S
PBR252W010	5280	10	3200	220BT-60Ω 12P2S
PBR252W7R5	5280	7.5	3210	220BT-45Ω 12P2S
PBR252W3R3	5280	3.3	1760	220BT-20Ω 12P2S
PBR252W002	5280	2	1000	220BT-12Ω 12P2S
PBR402W160	240	160	50	120BT-80Ω 2S
PBR408W160	880	160	570	220BT-160Ω 2P2S
PBR408W080	880	80	270	220BT-80Ω 2P2S
PBR408W060	880	60	130	220BT-60Ω 2P2S
PBR408W040	880	40	190	220BT-40Ω 2P2S
PBR408W030	880	30	270	220BT-30Ω 2P2S
PBR417W080	1760	80	1090	220BT-160Ω 4P2S
PBR417W060	1760	60	1000	220BT-120Ω 4P2S
PBR417W040	1760	40	490	220BT-80Ω 4P2S
PBR417W030	1760	30	270	220BT-80Ω 4P2S
PBR417W015	1760	15	540	220BT-30Ω 4P2S
PBR417W008	1760	8	1000	220BT-16Ω 4P2S
PBR422W040	2200	40	810	220BT-400Ω 10P
PBR422W030	2200	30	550	220BT-300Ω 10P
PBR422W015	2200	15	540	220BT-150Ω 10P
PBR426W040	2640	40	1250	220BT-120Ω 6P2S
PBR426W030	2640	30	870	220BT-90Ω 6P2S
PBR426W015	2640	15	540	220BT-45Ω 6P2S
PBR426W008	2640	8	1000	220BT-24Ω 6P2S
PBR435W040	3520	40	1900	220BT-160Ω 8P2S
PBR435W030	3520	30	1680	220BT-120Ω 8P2S
PBR435W015	3520	15	540	220BT-60Ω 8P2S
PBR452W040	5280	40	2250	220BT-240Ω 12P2S
PBR452W030	5280	30	2700	220BT-180Ω 12P2S
PBR452W015	5280	15	1740	220BT-90Ω 12P2S
PBR452W008	5280	8	1000	220BT-48Ω 12P2S

*) xP – последовательное соединение, xS – параллельное соединение (x – количество резисторов в соединении)

PBR2**: для моделей 200В класса

PBR4**: для моделей 400В класса

Приложение 2: Блоки тормозных резисторов (со встроенной силовой схемой)

Модель	Мощность (Вт)	Сопротивление (Ом)	Продолжительная регенерируемая мощность (Вт)	Конфигурация *)
PB3-2110	660	10	200	220BT-30Ω 3P
PB3-2150	880	7.5	270	220BT-30Ω 4P
PB3-2300	1200	3.3	610	200BT-5Ω 3P2S
PB3-2550	2000	2	1000	200BT-5Ω 5P2S
PB3-4110	660	40	190	220BT-120Ω 3P
PB3-4150	880	30	270	220BT-120Ω 4P
PB3-4300	1200	13.3	590	200BT-20Ω 3P2S
PB3-4550	2000	8	1000	200BT-20Ω 5P2S

Приложение 3: Минимально допустимые сопротивления

Тип	Число входных фаз	Входное напряжение [В]	Мощность [кВт]	Минимально допустимое сопротивление [Ом]	Стандартный дополнительный тормозной резистор ($\beta=0.8$)	β -коэффициент
VFP7-2185P	3	200	18.5	5	PBR3-2150	1.2
VFP7-2220P	3	200	22	3.3	PBR3-2220	1.2
VFP7-2300P	3	200	30	3.3	PB3-2300	1.1
VFP7-2370P	3	200	37	1.7	PB3-2550	1.2
VFP7-2450P	3	200	45	1.7	PB3-2550	1.2
VFP7-2550P	3	200	55	1.7	PB3-2550	1.2
VFP7-2750P	3	200	75	1.3	DGP600W-B1	1.1
VFP7-2900P	3	200	90	1	DGP600W-B1	1.2
VFP7-2110KP	3	200	110	1	DGP600W-B1	1.0
VFP7-4185P	3	400	18.5	20	PBR3-4150	1.2
VFP7-4220P	3	400	22	13.3	PBR3-4220	1.2
VFP7-4300P	3	400	30	13.3	PB3-4300	1.1
VFP7-4370P	3	400	37	13.3	PB3-4300	1.0
VFP7-4450P	3	400	45	6.7	PB3-4550	1.2
VFP7-4550P	3	400	55	5	PB3-4550	1.2
VFP7-4750P	3	400	75	3.3	PB3-4550	1.2
VFP7-4900P	3	400	90	3.3	PB3-4550	1.2
VFP7-4110KP	3	400	110	2.5	DGP600W-B2	1.2
VFP7-4132KP	3	400	132	2.5	DGP600W-B2	1.2
VFP7-4160KP	3	400	160	2.5	DGP600W-B2	1.1
VFP7-4200KP	3	400	200	1	DGP600W-B3	1.2
VFP7-4220KP	3	400	220	1	DGP600W-B3	1.2
VFP7-4280KP	3	400	280	1	DGP600W-B4	1.2
VFP7-4315KP	3	400	315	1	DGP600W-B4	1.2

Тип	Число входных фаз	Входное напряжение [В]	Мощность [кВт]	Минимально допустимое сопротивление [Ом]	Стандартный дополнительный тормозной резистор ($\beta=0.8$)	β -коэффициент
VFA7-2007PL	3	200	0.75	63	Встроен	1.5
VFA7-2015PL	3	200	1.5	35	Встроен	1.5
VFA7-2022PL	3	200	2.2	25	Встроен	1.5
VFA7-2037PL	3	200	3.7	17	Встроен	1.5
VFA7-2055PL	3	200	5.5	10	PBR3-2055	1.5
VFA7-2075PL	3	200	7.5	10	PBR3-2075	1.4
VFA7-2110P	3	200	11	10	PBR3-2110	1.0
VFA7-2150P	3	200	15	7.5	PBR3-2150	1.0
VFA7-2185P	3	200	18.5	5	PBR3-2150	1.2
VFA7-2220P	3	200	22	3.3	PBR3-2220	1.5
VFA7-2300P	3	200	30	3.3	PB3-2300	1.1
VFA7-2370P1	3	200	37	1.7	PB3-2550	1.5
VFA7-2450P1	3	200	45	1.7	PB3-2550	1.4
VFA7-2550P1	3	200	55	1.7	PB3-2550	1.2
VFA7-2750P1	3	200	75	1.3	DGP600W-B1	1.1
VFA7-2900P1	3	200	90	1	DGP600W-B1	1.2
VFA7-4007PL	3	400	0.75	100	Встроен	1.5
VFA7-4015PL	3	400	1.5	100	Встроен	1.5
VFA7-4022PL	3	400	2.2	67	Встроен	1.5
VFA7-4037PL	3	400	3.7	40	Встроен	1.5
VFA7-4055PL	3	400	5.5	40	PBR3-4055	1.5
VFA7-4075PL	3	400	7.5	40	PBR3-4075	1.4
VFA7-4110PL	3	400	11	40	PBR3-4110	1.0
VFA7-4150PL	3	400	15	30	PBR3-4150	1.0
VFA7-4185P	3	400	18.5	20	PBR3-4150	1.2
VFA7-4220P	3	400	22	13.3	PBR3-4220	1.5
VFA7-4300P	3	400	30	13.3	PB3-4300	1.1
VFA7-4370P1	3	400	37	6.7	PB3-4550	1.5
VFA7-4450P1	3	400	45	6.7	PB3-4550	1.4
VFA7-4550P1	3	400	55	5	PB3-4550	1.5
VFA7-4750P1	3	400	75	3.3	PB3-4550	1.5
VFA7-4110KP1	3	400	110	2.5	DGP600W-B2	1.5
VFA7-4132KP1	3	400	132	2.5	DGP600W-B2	1.3
VFA7-4160KP1	3	400	160	1.3	DGP600W-B2	1.5
VFA7-4220KP1	3	400	220	1	DGP600W-B3	1.5
VFA7-4280KP1	3	400	280	1	DGP600W-B4	1.5

Тип	Число входных фаз	Входное напряжение [В]	Мощность [кВт]	Минимально допустимое сопротивление [Ом]	Стандартный дополнительный тормозной резистор ($\beta=0.8$)	β -коэффициент
VFS9S-2002PL	1	200	0.2	63	PBR3-2007	1.5
VFS9S-2004PL	1	200	0.4	63	PBR3-2007	1.5
VFS9S-2007PL	1	200	0.75	42	PBR3-2007	1.5
VFS9S-2015PL	1	200	1.5	30	PBR3-2022	1.5
VFS9S-2022PL	1	200	2.2	30	PBR3-2022	1.5
VFS9-2002PM	3	200	0.2	63	PBR3-2007	1.5
VFS9-2004PM	3	200	0.4	63	PBR3-2007	1.5
VFS9-2007PM	3	200	0.75	42	PBR3-2007	1.5
VFS9-2015PM	3	200	1.5	30	PBR3-2022	1.5
VFS9-2022PM	3	200	2.2	30	PBR3-2022	1.5
VFS9-2037PM	3	200	3.7	24	PBR3-2037	1.2
VFS9-2055PL	3	200	5.5	10	PBR3-2055	1.5
VFS9-2075PL	3	200	7.5	10	PBR3-2075	1.4
VFS9-2110PM	3	200	11	7	PBR3-2110	1.4
VFS9-2150PM	3	200	15	7	PBR3-2150	1.0
VFS9-4007PL	3	400	0.75	99	PBR3-2007	1.5
VFS9-4015PL	3	400	1.5	99	PBR3-2007	1.5
VFS9-4022PL	3	400	2.2	73	PBR3-2007	1.5
VFS9-4037PL	3	400	3.7	73	PBR3-2007	1.5
VFS9-4055PL	3	400	5.5	44	PBR3-4055	1.5
VFS9-4075PL	3	400	7.5	44	PBR3-4075	1.3
VFS9-4110PL	3	400	11	22	PBR3-4110	1.5
VFS9-4150PL	3	400	15	22	PBR3-4150	1.3
VFnC1S-1002P	1	100	0.2	-	-	-
VFnC1S-1004P	1	100	0.4	-	-	-
VFnC1S-1007P	1	100	0.75	-	-	-
VFnC1S-2002P	1	200	0.2	-	-	-
VFnC1S-2004P	1	200	0.4	-	-	-
VFnC1S-2007P	1	200	0.75	-	-	-
VFnC1S-2015P	1	200	1.5	-	-	-
VFnC1S-2022P	1	200	2.2	-	-	-
VFnC1-2002P	3	200	0.2	-	-	-
VFnC1-2004P	3	200	0.4	-	-	-
VFnC1-2007P	3	200	0.75	-	-	-
VFnC1-2015P	3	200	1.5	-	-	-
VFnC1-2022P	3	200	2.2	-	-	-

Максимальное значение β -коэффициента

Модель	Максимальное значение β -коэффициента
VFA7	1,5
VFP7	1,2
VFS9	1,5
VFnC1	0,3 (торможение только инвертором)

β -коэффициент: максимальный тормозной момент, достигаемый при использовании тормозного резистора с минимально допустимым сопротивлением ($\beta \times$ номинальный момент).

Обратите внимание:

При превышении максимального значения тормозного момента возможна авария из-за перегрузки тормозного резистора.