

# Altivar 61/71

Руководство по  
по эксплуатации

Модули торможения  
для тормозных сопротивлений

**VW3 A7 101**  
**VW3 A7 102**





---

Введение	4
Последовательность ввода в эксплуатацию	5
Предварительные рекомендации	6
Характеристики тормозного модуля	7
Установка - Монтаж	9
Настройка параметров тормозного модуля / Диагностика	14
Подключение	15
Принцип торможения и расчет	16
Выбор тормозного модуля	20

Внимательно изучите данное руководство перед началом работы с преобразователем частоты.

## ОПАСНО

### Опасное напряжение

- Перед вводом в эксплуатацию тормозного модуля, внимательно изучите в полном объеме данное руководство. Установка, настройка и ремонт должны осуществляться квалифицированным персоналом.
- Ответственность за выполнение требований действующих международных и национальных стандартов, касающихся защитного заземления всех устройств, несет пользователь.
- Многие элементы преобразователя частоты, включая карты цепей управления, подключены к сетевому питанию, поэтому **прикасаться к ним чрезвычайно опасно**. Используйте только инструменты с электрической изоляцией.
- Если устройство находится под напряжением, не прикасайтесь к неэкранированным элементам и винтам клеммников.
- Не закорачивайте клеммы PA/+ и PC/- или конденсаторы промежуточного звена постоянного тока.
- Перед включением питания ПЧ установите на место все защитные крышки.
- Перед обслуживанием или ремонтом преобразователя частоты:
  - отключите питание;
  - повесьте табличку "Не прикасаться - под напряжением" под автоматом или разъединителем ПЧ;
  - заблокируйте автомат или разъединитель в отключенном состоянии.
- Перед любым вмешательством в ПЧ отключите питание, включая внешнее питание цепей управления, если оно используется. Затем следуйте инструкции по измерению напряжения звена постоянного тока, содержащейся в Руководстве по установке преобразователя частоты, чтобы убедиться, что это напряжение меньше 45 В. Светодиод ПЧ не является точным индикатором отсутствия напряжения в звене постоянного тока.

**Несоблюдение этих указаний может привести к смерти или тяжелым травмам.**

## ■ 1 Приемка тормозного модуля

- Убедитесь, что обозначение на заводской табличке соответствует тому, что указано на прилагаемом упаковочном листе и в спецификации
- После снятия упаковки удостоверьтесь, что тормозной модуль не был поврежден при транспортировке

## ■ 2 Проверка сетевого питания

- Убедитесь, что напряжение сети совместимо с диапазоном напряжения питания тормозного модуля (см. стр. 7)

## ■ 3 Установка тормозного модуля

- Закрепите тормозной модуль до установки шасси дросселя постоянного тока на преобразователь частоты

## ■ 4 Подключение тормозного модуля

- Подключите силовые клеммы BU- и BU+ тормозного модуля к преобразователю
- Подключите цепи управления

## ■ 5 Настройте в преобразователе параметры торможения

- Настройте параметр, исключающий автоматическую адаптацию темпа замедления [Адаптация замедления] (bra)
- Настройте параметры, необходимые для защиты тормозного сопротивления [Защита тормозного сопротивления] (brP-)
- См. рекомендации на стр. 14 и Руководство по программированию

Этапы 1 - 4 должны выполняться при отключенном питании

## Приемка

Убедитесь, что обозначение устройства на заводской табличке соответствует тому, что указано на прилагаемом упаковочном листе и в спецификации.

После снятия упаковки удостоверьтесь, что тормозной модуль не был поврежден при транспортировке.

Для успешного ввода в эксплуатацию необходимо правильно выбрать тормозной модуль, защиты и подключение. Для получения дополнительной информации обращайтесь в Schneider Electric.

### Разряд конденсаторов!

Перед любым вмешательством в тормозной модуль отключите питание и подождите 15 минут для полного разряда конденсаторов фильтра звена постоянного тока. Измерьте напряжение звена постоянного тока, которое должно быть меньше 60 В.

### Автоматический повторный пуск!

В некоторых случаях в зависимости от настройки может произойти автоматический перезапуск ПЧ при подключении питания. Необходимо гарантировать безопасность оборудования и окружающего персонала.

## Общие положения

При замедлении двигателя с заданным темпом он работает в генераторном режиме. Входной выпрямитель преобразователя частоты не способен возвращать электроэнергию в распределительную сеть.

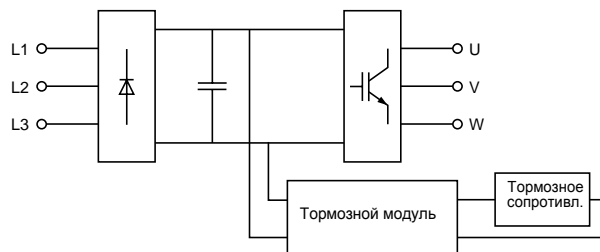
В генераторном режиме работы напряжение на зажимах промежуточного звена постоянного тока увеличивается вследствие регенерации энергии от двигателя к ПЧ. Это приводит к блокировке преобразователя по неисправности Перенапряжение звена постоянного тока.

Мощность возвращаемой энергии зависит от момента инерции тормозной нагрузки и желаемого времени торможения.

Преобразователь защищается от блокировки по перенапряжению путем адаптации темпа торможения. Для получения более быстрого торможения необходимо использовать ТОРМОЗНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.

Тормозной модуль является внешним модулем, который управляется и контролируется преобразователем. Если напряжение на зажимах звена постоянного тока превышает предварительно заданное значение, то внешнее сопротивление, подключенное к звену постоянного тока будет рассеивать тормозную энергию.

Выбор минимального значения сопротивления должен производиться на основании таблицы характеристик тормозного модуля, а его мощность зависит от применения.



Рекомендуется использовать сетевой контактор в схеме питания преобразователя. Этот контактор должен размыкаться при появлении неисправности.

## ВНИМАНИЕ

### СОБЛЮДАЙТЕ СЛЕДУЮЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ:

- Не закорачивайте звено постоянного тока или клеммы PA - PB.
- Тормозные сопротивления должны устанавливаться в пожаробезопасном сухом окружении.
- Убедитесь в правильной полярности подключения тормозного модуля.

**При несоблюдении этих предупреждений возможен выход оборудования из строя.**

## Электрические характеристики

Тип тормозного модуля		VW3 A7 101	VW3 A7 102
Номинальное напряжение сети и питания преобразователя (эффективное значение)	В	~ 380 - 15 %...480 + 10 %	
Уставка включения	В	= 785 ± 1 %	
Максимальное напряжение звена постоянного тока	В	850	
Максимальная мощность торможения с сетью = 785 В (1)	кВт	420	750
Максимальная постоянная мощность	кВт	200	400
Процент времени проводимости с постоянной мощностью при = 785 В (1)		5% - 420 кВт	5% - 750 кВт
		15% - 320 кВт	15% - 550 кВт
		50% - 250 кВт	50% - 440 кВт
Длительность цикла	с	≤ 240 <b>Примечание:</b> возможна более быстрая циклограмма, но нельзя превышать значение максимальной постоянной мощности тормозного модуля	
Мощность торможения при вертикальном перемещении (значения приведены для длительности цикла 240 с)			

**Примечание:** уставка включения тормозного модуля.

## Защита

Тип тормозного модуля		VW3 A7 101	VW3 A7 102
Тепловая защита		Встроенная с помощью терморезистора и управляемая преобразователем частоты	

## Характеристики установки тормозного модуля

		VW3A7101	VW3A7102
Для преобразователя		ATV61HC25N4 ATV61HC31N4 ATV71HC20N4 ATV71HC25N4 ATV71HC28N4	ATV61HC40N4 ATV61HC50N4 ATV61HC63N4 ATV71HC31N4 ATV71HC40N4 ATV71HC50N4
Температура окружающего воздуха вблизи устройства	При работе	°C	- 10...+ 50
	При хранении	°C	- 25...+ 70
Степень защиты		IP00 или IP31 с VW3A9114	IP00
Потери при номинальной мощности		Вт	550
Принудительная вентиляция		м³/час	100
Положение		Всегда слева от преобразователя	
Установка		Вертикальная Крепление к ПЧ	Вертикальная Крепление к стене или задней стенке шкафа рядом с ПЧ
Расстояние от преобразователя		мм	- От 0 до 1000 мм
Подключение силовой цепи		Поставляется с тормозным модулем	Поставляется с тормозным модулем для расстояния 110 ± 5 мм. Подключение типа "гибкая шина". При необходимости можно укоротить до нужного размера, не повредив изоляцию. Необходимо также перделать фиксирующие отверстия
Подключение управления		Поставляется с тормозным модулем	

## Размеры

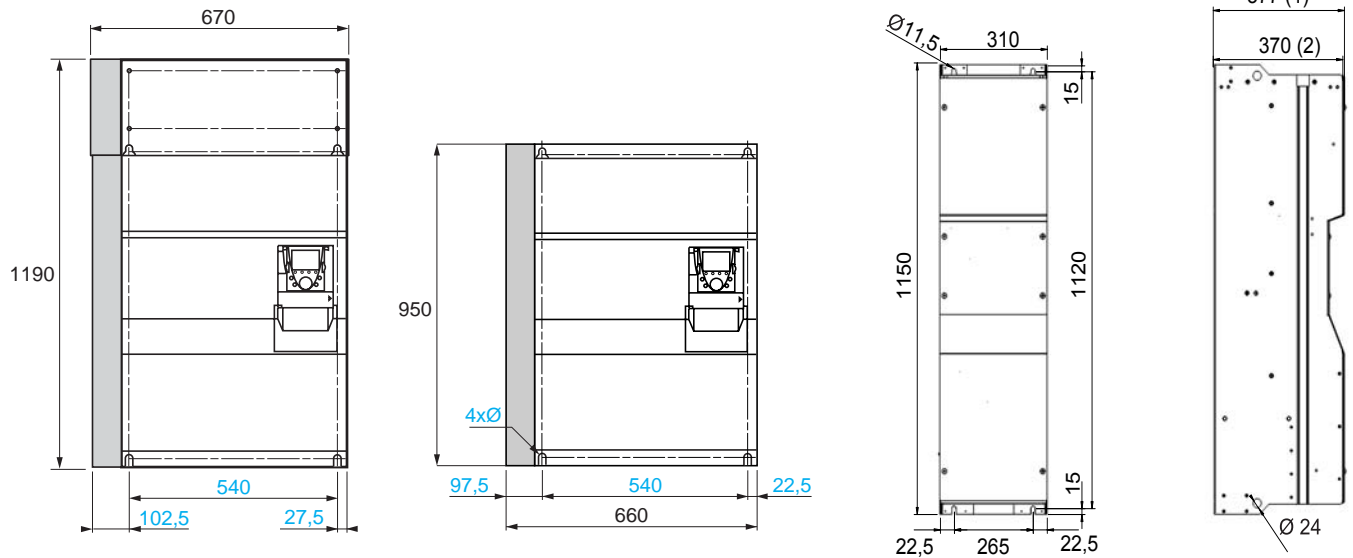
### Тормозной модуль VW3 A7 101

ATV71HC20N4...HC28N4 с  
тормозным модулем VW3 A7 101

ATV71HC20N4D...HC28N4D с  
тормозным модулем VW3 A7 101

### Тормозной модуль VW3 A7 102

(1) С винтами  
(2) Без винтов



(1) Наличие тормозного модуля VW3 A7 101 не изменяет глубины комплекта: преобразователь + тормозной модуль.

## Характеристики тормозных сопротивлений

		VW3A7101	VW3A7102
Минимальное значение сопротивления, подключенного к тормозному модулю (1)	Ом	1,05	0,7
Максимальное сечение кабеля		2 x 185 мм <sup>2</sup> 2 x 350 МСМ	4 x 185 мм <sup>2</sup> 4 x 350 МСМ
Тепловая защита		- рассчитанная преобразователем (см. Руководство по программированию, параметр brP-). - с помощью внешнего теплового реле	

(1) Можно подключить параллельно несколько тормозных сопротивлений для увеличения мощности торможения. В этом случае не забудьте учесть минимальное значение сопротивления для каждого модуля.



## Рекомендации по установке

### Введение:

Тормозной модуль VW3A7101 должен использоваться только для преобразователей ATV71HC20N4, C25N4 и C28N4.  
Тормозной модуль VW3A7102 должен использоваться только для преобразователей ATV71HC31N4, C40N4 и C50N4.

### Установка:

Тормозной модуль VW3A7101 механически крепится только с левой стороны преобразователя.

Тормозной модуль VW3A7102 механически крепится с левой стороны преобразователя, на стене или на установочной пластине преобразователя.

Тормозной модуль должен устанавливаться на расстоянии 110 мм ( $\pm 5$  мм) от преобразователя. Это расстояние диктуется размером соединительных шин, поставляемых с тормозным модулем. Однако есть возможность увеличения расстояния до 1 метра с помощью соединительных шин (63 x 5 x 1 мм), поставляемых индивидуально.

**Важно:** разница между гибкими соединительными шинами для подключения к клеммам BU+ и BU- не должна превышать 10 мм.

### Электрическое подключение:

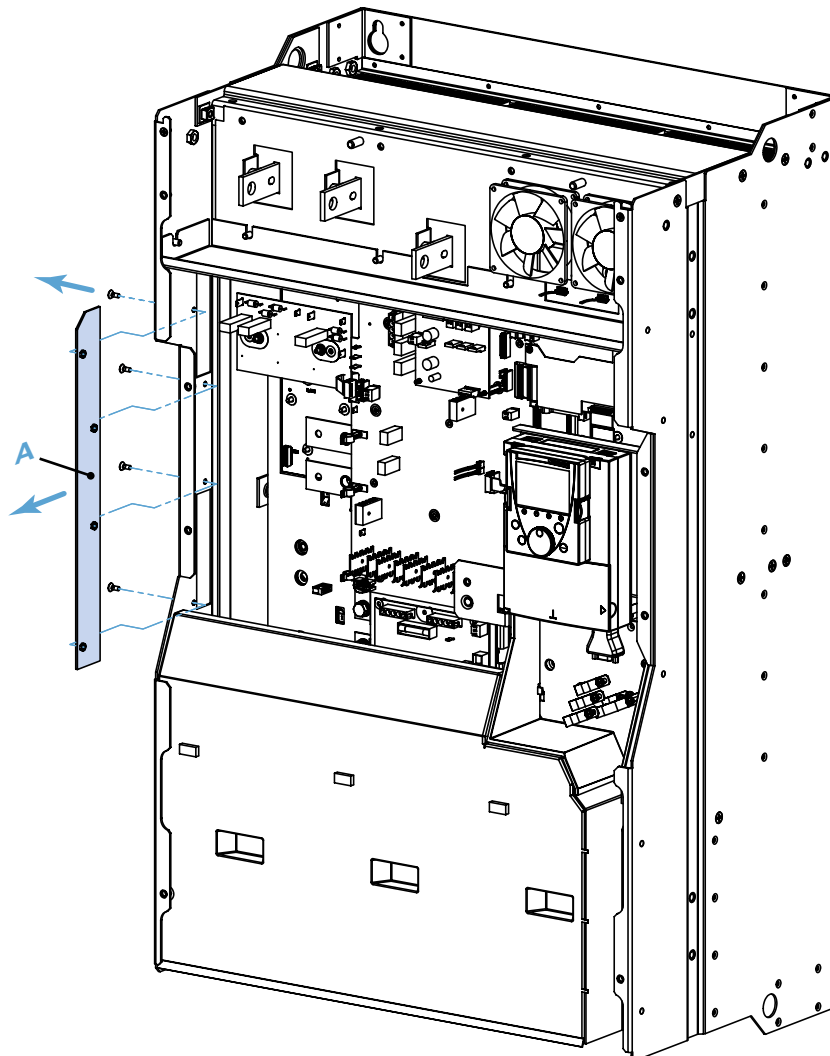
После механической установки осуществите подключение силовой части между ПЧ и тормозным модулем BU+ и BU-.

Подключите кабели управления X20, X92, X3, X3A и X3B для VW3A7101 или X1 и X2 для VW3A7102.

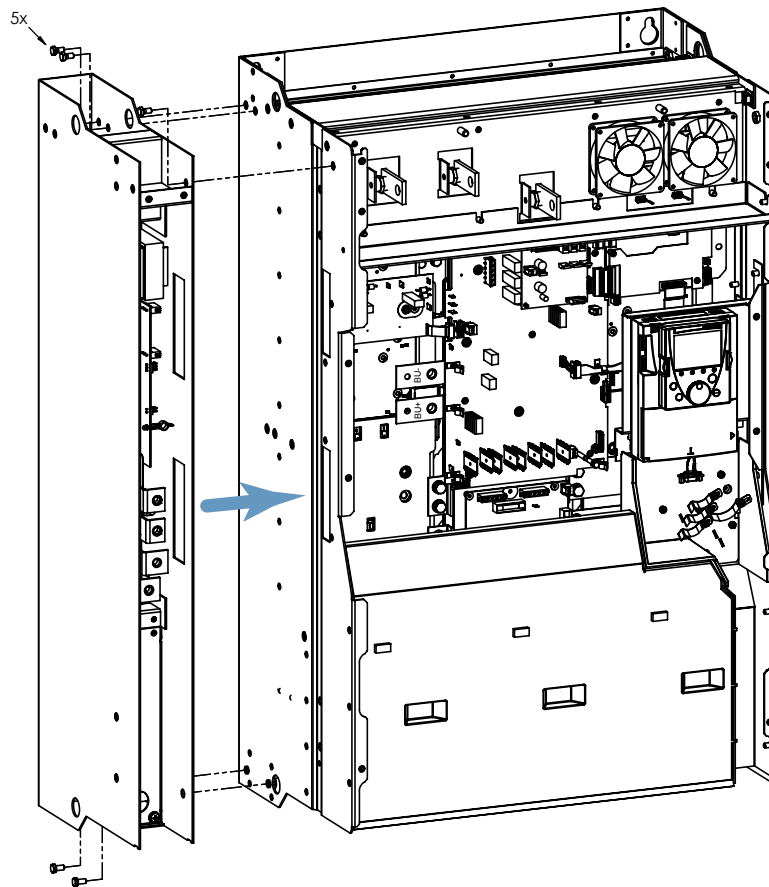
Подключите тормозное сопротивление к клеммам PA и PB.

## Описание различных этапов установки и монтажа тормозного модуля VW3A7101

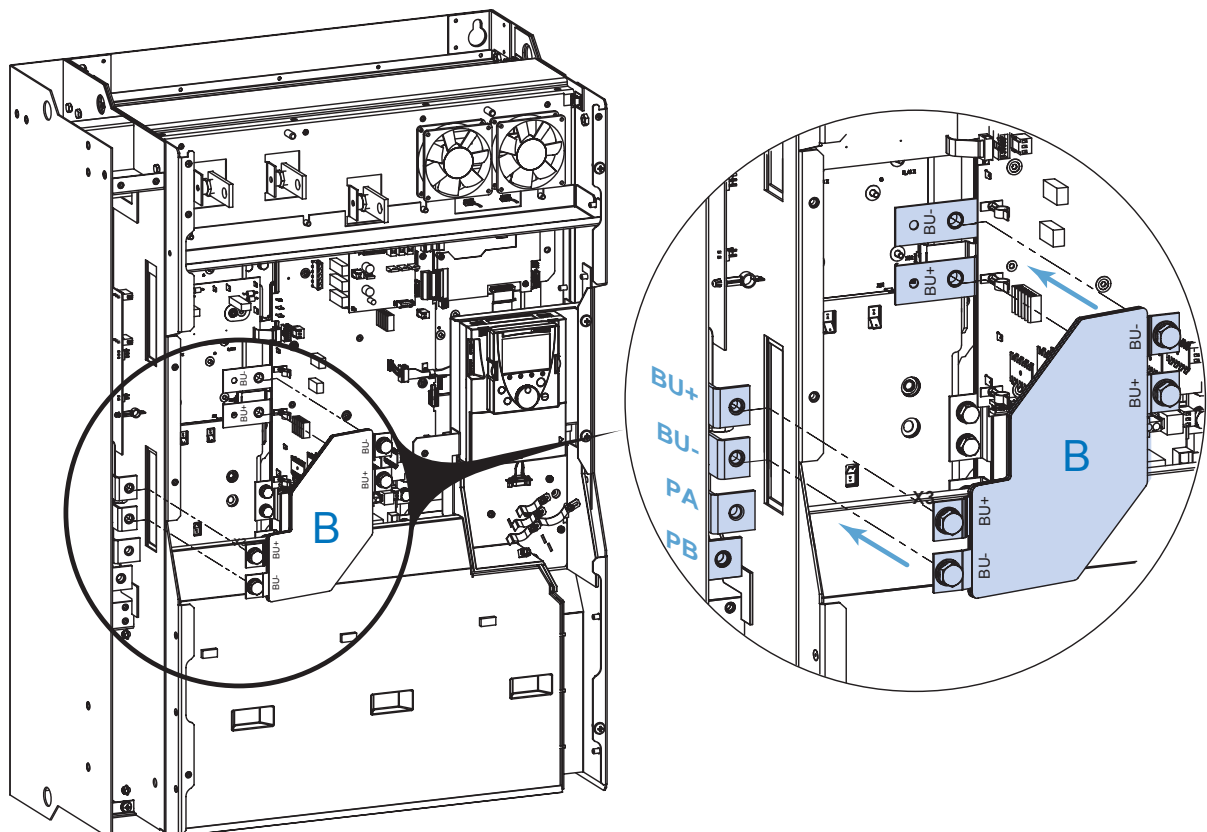
- 1 Закрепите преобразователь
- 2 Снимите крышку преобразователя, соблюдая указания по безопасности, приведенные в данном документе
- 3 Снимите съемную часть А с левой стороны преобразователя



4 Закрепите тормозной модуль с левой стороны преобразователя. Для этого предусмотрено 5 отверстий для крепления (5xM8)

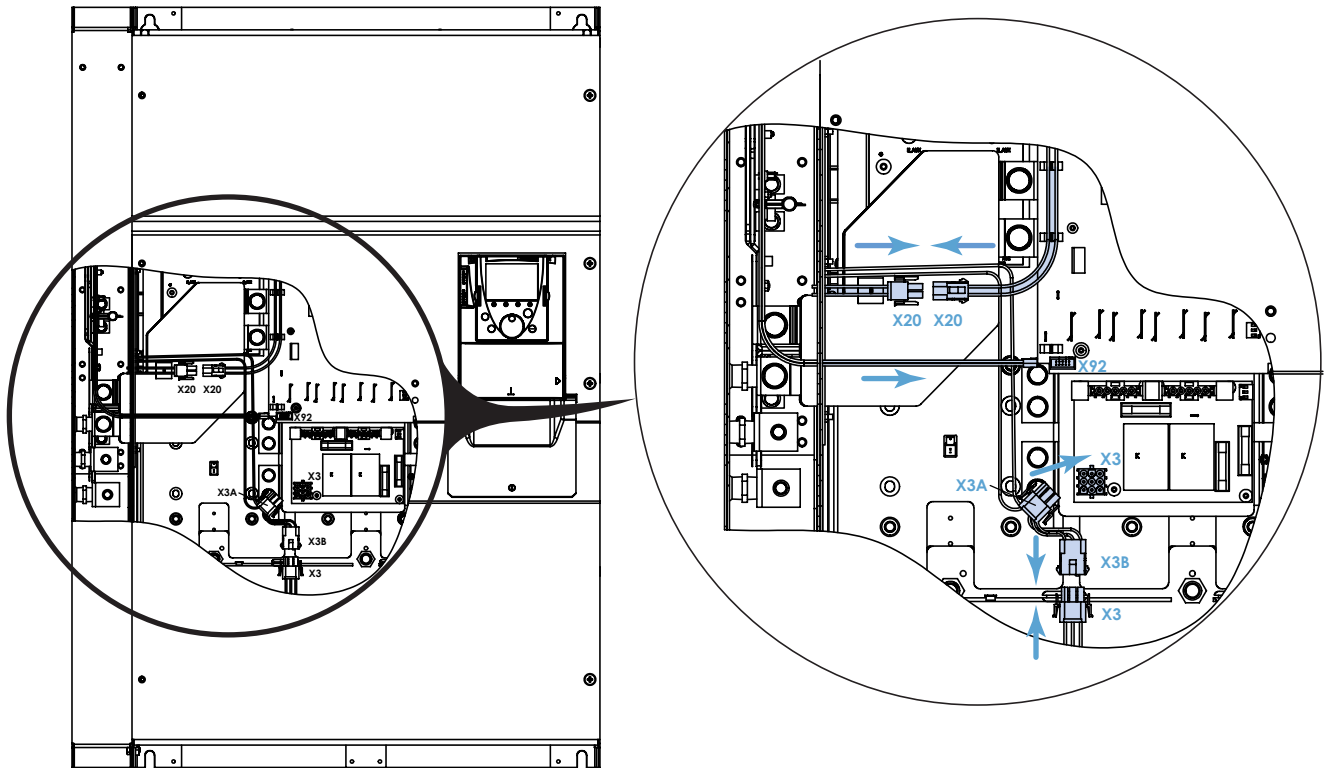


5 Подключите перемычку В между клеммами ВU- и ВU+ преобразователя и ВU- и ВU+ тормозного модуля  
 6 Подключите тормозное сопротивление к клеммам РА и РВ



## 7 Подключите кабели управления:

- подключите кабель управления X20 тормозного модуля к кабелю X20 преобразователя
- подключите кабель управления X92 тормозного модуля к разъему X92 преобразователя
- отключите кабель X3 преобразователя от разъема X3, находящегося на карте преобразователя
- подключите кабель X3 преобразователя к кабелю X3В тормозного модуля
- подключите кабель X3А тормозного модуля к разъему X3, находящегося на карте преобразователя

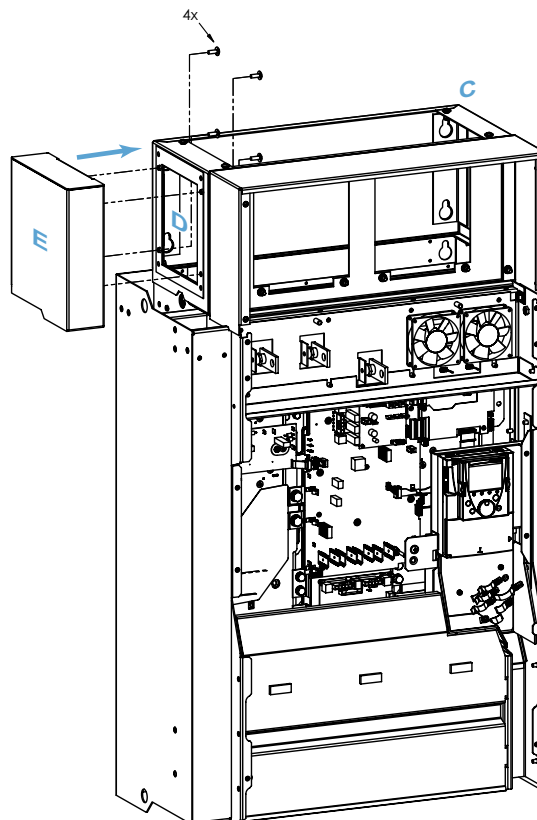


8 Закрепите на стене или задней стенке шкафа шасси дросселя постоянного тока (С). См. рекомендации, приведенные в Руководстве по установке преобразователя

9 Вытащите съемную часть (D) шасси дросселя постоянного тока

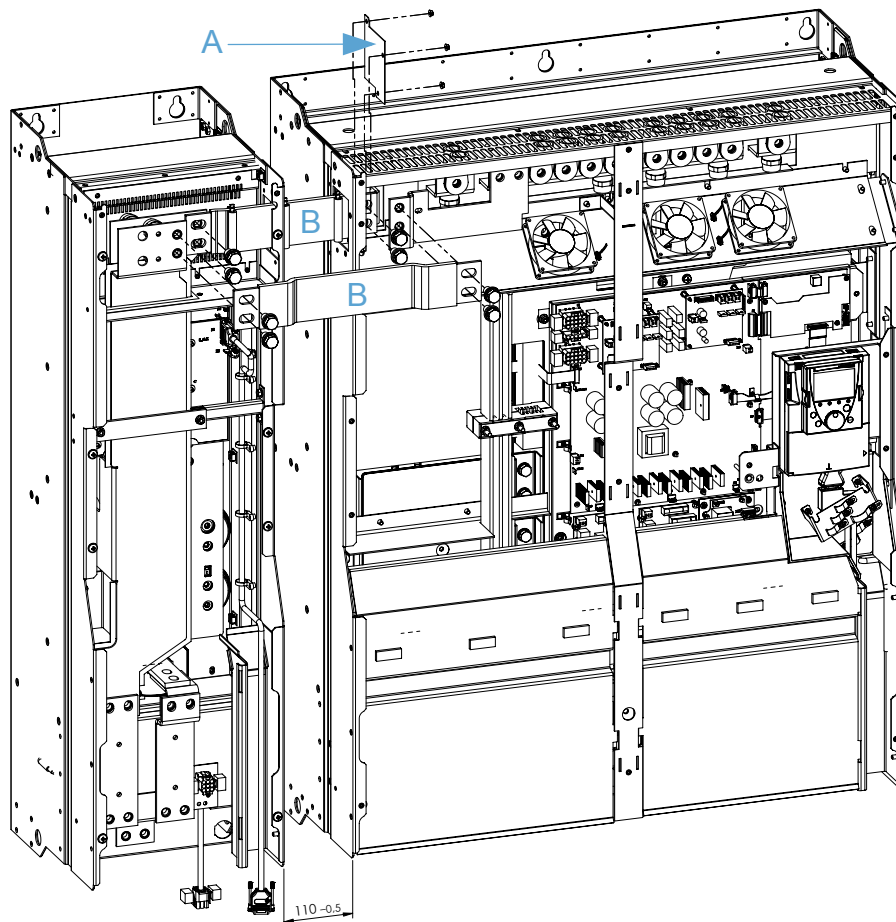
10 Закрепите крышку (E) тормозного модуля на шасси дросселя постоянного тока

11 Установите дроссель (дроссели) в соответствии с рекомендациями, приведенными в Руководстве по установке преобразователя

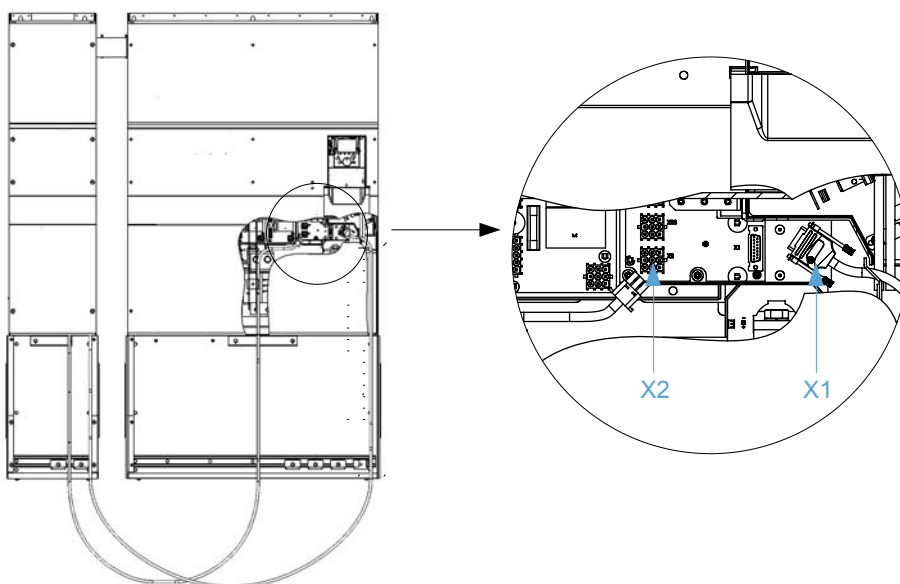


### Описание различных этапов установки и монтажа тормозного модуля VW3A7102

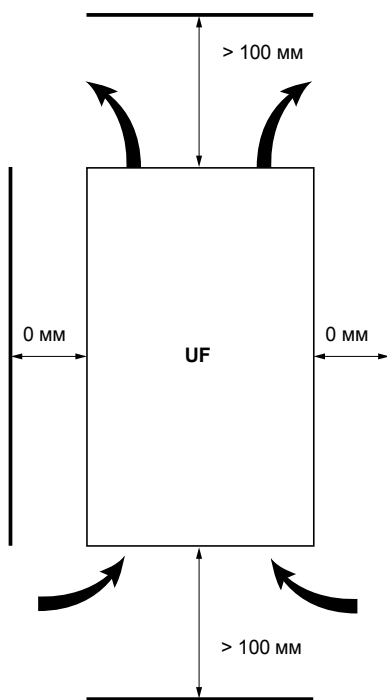
- 1 Закрепите преобразователь и тормозной модуль
  - 2 Снимите крышку преобразователя, соблюдая указания по безопасности, приведенные в данном документе
  - 3 Снимите съемную часть А с левой стороны преобразователя
  - 4 Подключите клеммы BU- и BU+ преобразователя к клеммам BU- и BU+ тормозного модуля с помощью соединительной перемычки В
- Важно:** разница между гибкими соединительными шинами для подключения к клеммам BU+ и BU- не должна превышать 10 мм



- 5 Подключите цепи управления и питания вентилятора:
  - подключите кабель управления X1, идущий от тормозного модуля к разъему X1 ПЧ через переход кабеля управления
  - подключите кабель питания вентилятора, идущий от тормозного модуля к разъему X2 преобразователя



### Рекомендации по установке тормозного модуля VW3 A7 102



Тормозной модуль устанавливается в вертикальном положении. Подключение тормозного модуля осуществляется снизу. При правильном подключении тормозной модуль отвечает степени защиты IP20.

Охлаждение тормозного модуля осуществляется с помощью встроенного вентилятора. Необходимо обеспечить свободную циркуляцию воздуха вокруг тормозного модуля. Воздух не должен содержать примесей пыли, коррозионных газов и конденсата.

Установите модуль в вертикальном положении  $\pm 10^\circ$ .

Запрещается его установка рядом с нагревательными элементами. Особенно избегайте размещения нагревательных элементов под преобразователем частоты или тормозным модулем.

Оставьте достаточно места для циркуляции воздуха, охлаждающего устройство.

### Рекомендации по установке тормозных сопротивлений

Корпус сопротивления (степень защиты IP23) может достигать температуры  $350^\circ\text{C}$ .

Необходимо располагать эти сопротивления вдали от оборудования без риска случайного прикосновения.

Должна быть обеспечена их вентиляция с целью удаления выделяемого тепла.

## Тормозные параметры, которые необходимо настроить в преобразователе

Обратитесь к Руководству по программированию и компакт-диску, поставляемому с преобразователем частоты.

- В меню **[1.7 ПРИКЛАДНЫЕ ФУНКЦИИ] (FUN-)**, подменю **[ЗАДАТЧИК] (rPt-)**, поставьте параметр **[АДАПТАЦИЯ ТЕМПА ТОРМОЖЕНИЯ] (brA)** в положение **[Нет] (nO)**.
- Установите защиту тормозного сопротивления с помощью преобразователя: в меню **[1.8 УПРАВЛЕНИЕ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ] (FLt-)** настройте параметры подменю **[ЗАЩИТА ТОРМОЗНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ] (brP-)**.
- Уставка включения тормозного модуля имеет заводскую настройку, адаптированную ко всем типам сетевого питания. Тем не менее, пользователи могут изменить эту настройку для специальных применений.  
В меню **[1.4 ПРИВОД] (drC-)** настройте параметр **[Уставка торможения] (Ubr)**.
  - Для трехфазного питания 400 В уставка настраивается в пределах от 660 до 820 В постоянного тока
  - Для трехфазного питания 440 В уставка настраивается в пределах от 720 до 820 В постоянного тока
  - Для трехфазного питания 460 В уставка настраивается в пределах от 750 до 820 В постоянного тока
  - Для трехфазного питания 480 В уставка настраивается в пределах от 770 до 820 В постоянного токаРекомендуемое значение 785 В постоянного тока (заводская настройка).
- В случае, когда несколько преобразователей, каждый с тормозным модулем, подключены к цепи постоянного тока, то существует возможность автоматической настройки порогов включения в меню **[1.4 ПРИВОД] (drC-)**. Поставьте параметр **[Выравнивание мощности торможения] (bbA)** на **[Да] (YES)**.

## Диагностика

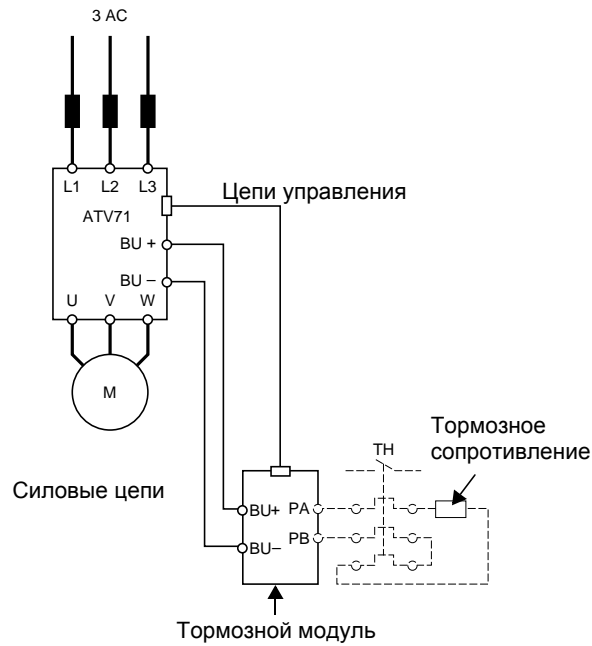
Контроль тормозного модуля и подключенного к нему тормозного сопротивления осуществляется с помощью преобразователя.

Контроль особенно касается:

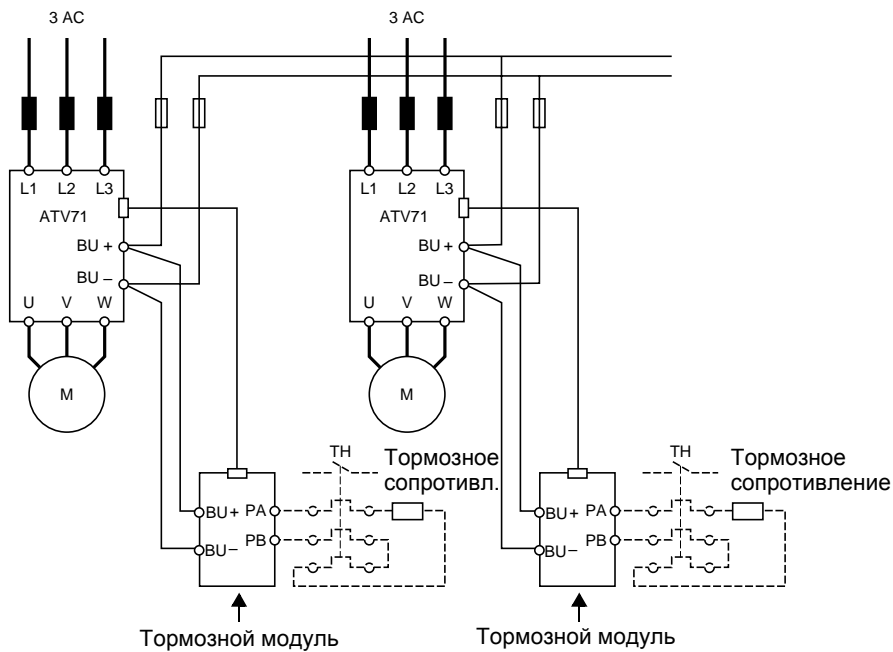
- перегрузки сопротивления;
- короткого замыкания.

При появлении неисправности обращайтесь к Руководству по программированию и компакт-диску, поставляемому с преобразователем частоты.

## Подключение преобразователя к тормозному модулю и сопротивлению



## Подключение двух преобразователей, каждый из которых связан с тормозным модулем, к общей цепи постоянного тока

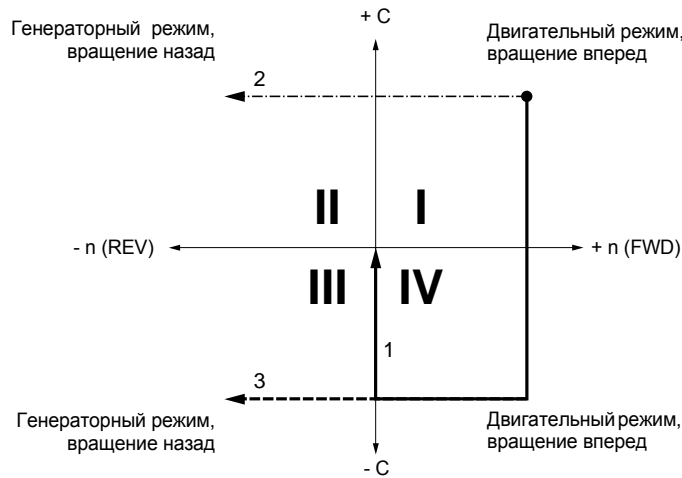


**Примечание:** цепь постоянного тока.

Можно подключать к цепи постоянного тока ПЧ разных типоразмеров (с учетом рекомендации по отличию между ПЧ не более, чем на 1 типоразмер).

Для получения правильного рабочего соотношения между преобразователем и тормозным модулем, момент и скорость двигателя должны быть хорошо известны в различных режимах работы.

При наличии различных знаков у этих двух переменных получаются следующие рабочие характеристики:



- 1 Торможение двигателя до нулевой скорости с постоянным моментом
- 2 Переход к режиму подъема при изменении направления Подъем/Спуск
- 3 Торможение и изменение направления двигателя с постоянным моментом

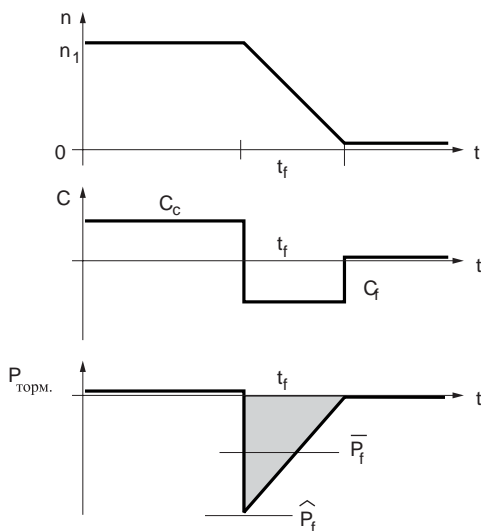
В общем случае мощность рассчитывается как:

$$P = \frac{C \cdot n}{9,55}$$

Следовательно, мощность в двигательном режиме (+P) отображается в квадранте I (+C, +n) и III (-C, -n). Мощность генераторном режиме (-P) отображается в квадранте II (+C, -n) и IV (-C, +n).

## Как правило, генераторные нагрузки делятся на две группы:

- 1 Мощность торможения при замедлении



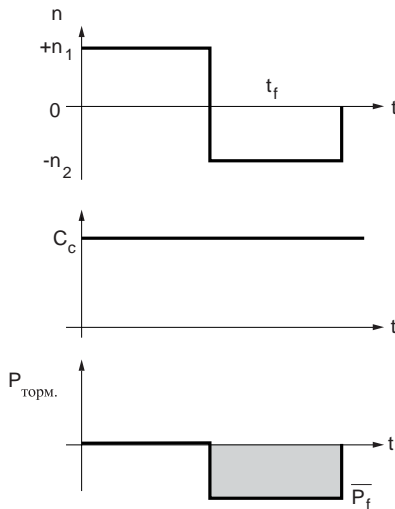
- n<sub>1</sub> Частота вращения двигателя
- C<sub>c</sub> Момент нагрузки
- C<sub>f</sub> Тормозной момент
- P<sub>f</sub> Максимальная мощность торможения
- P<sub>f</sub> Средняя мощность торможения в течение времени t<sub>f</sub>
- t<sub>f</sub> Время торможения

Мощность торможения характеризуется максимальной мощностью P<sub>f</sub>, получаемой в начале торможения, которая уменьшается до нуля пропорционально скорости.

Например: остановка центрифуг, приводов перемещения, реверсирование скорости и т.д.



## 2 Мощность торможения при постоянной скорости n2



При постоянной скорости мощность торможения остается постоянной в течение всего времени торможения.

При быстрых переходных процессах (время замедления < 2 с) время пиковой мощности будет более длительным из-за момента инерции нагрузки.

**Например:** подъемные механизмы при спуске груза, испытательные стенды Двигатель-генератор, наклонные конвейеры и т.д.

## Применение преобразователя частоты

Использование асинхронной машины в квадрантах II и IV заставляет работать двигатель в генераторном режиме и отдавать электрическую энергию в промежуточное звено постоянного тока преобразователя через его инвертор.

Постоянное напряжение преобразователя не может генерироваться в питающую сеть.

По этой причине в генераторном режиме работы напряжение звена постоянного тока возрастает.

Если во время торможения энергия, отдаваемая в звено постоянного тока, превосходит потери, порождаемые в двигателе и ПЧ, то напряжение звена возрастает.

Для преодоления этой проблемы необходимо увеличить время торможения или использовать тормозной модуль.

Регенерируемая мощность зависит от момента инерции нагрузки и времени торможения.

Преобразователь предупреждает блокировку из-за перенапряжения путем автоадаптации времени торможения. Для сохранения короткого времени (или заданного темпа) торможения или для работы при наличии активной нагрузки необходимо использовать тормозное устройство в виде тормозного модуля.

## Расчет мощности торможения

### 1) Расчет времени торможения на основе момента инерции

$$t_f = \frac{J \cdot \omega}{C_f + C_r}$$

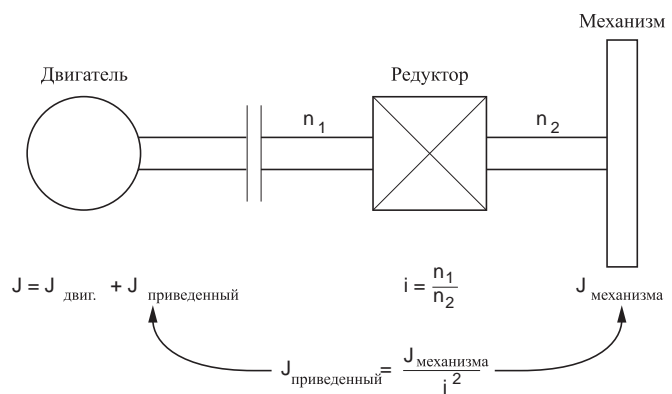
$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$$C_f = \frac{\Sigma J \cdot (n_1 - n_2)}{9,55 \cdot t_f}$$

$$\hat{P}_f = \frac{C_f \cdot n_1}{9,55}$$

$$\bar{P}_f = \frac{\hat{P}_f}{2}$$

$C_f$	Тормозной момент двигателя	[Н·м]
$\Sigma J$	Суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя	[кгм <sup>2</sup> ]
$n_1$	Частота вращения двигателя перед редуктором	[об/мин]
$n_2$	Частота вращения после редуктора	[об/мин]
$t_f$	Время торможения	[с]
$\hat{P}_f$	Максимальная мощность торможения	[Вт]
$\bar{P}_f$	Средняя мощность торможения в течение времени $t_f$	[Вт]



## 2) Мощность торможения нагрузки при горизонтальном перемещении с постоянным замедлением, например, тележка

$$W = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$\bar{P}_f = \frac{W}{t_f}$$

$$\hat{P}_f = \bar{P}_f \cdot 2$$

W	Кинетическая энергия	[Дж]
m	Масса	[кг]
v	Скорость	[м/с]
t <sub>f</sub>	Время торможения	[с]
$\hat{P}_f$	Максимальная мощность торможения	[Вт]
$\bar{P}_f$	Средняя мощность торможения в течение времени t <sub>f</sub>	[Вт]

## 3) Мощность торможения активной нагрузки, например, испытательный стенд

$$\bar{P}_f = \frac{C_f \cdot n}{9,55}$$

$\bar{P}_f$	Средняя мощность торможения в течение времени t <sub>f</sub>	[Вт]
C <sub>f</sub>	Тормозной момент	[Н·м]
n	Частота вращения двигателя	[об/мин]

## 4) Мощность торможения при вертикальном перемещении при спуске

$$\bar{P}_f = m \cdot g \cdot v$$

$$\hat{P}_f = m \cdot (g + a) \cdot v + \frac{J \cdot \omega^2}{t_f}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$\bar{P}_f$	Средняя мощность торможения в течение времени $t_f$	[Вт]
$\hat{P}_f$	Максимальная мощность торможения	[Вт]
$m$	Масса	[кг]
$g$	Ускорение	9,81 м/с <sup>2</sup>
$a$	Замедление	[м/с <sup>2</sup> ]
$v$	Линейная скорость при спуске	[м/с]
$J$	Момент инерции	[кгм <sup>2</sup> ]
$\omega$	Угловая скорость	[рад/с]
$t_f$	Время торможения при спуске	[с]
$n$	Частота вращения двигателя при спуске	[об/мин]

Все расчеты мощности торможения верны в предположении отсутствия потерь ( $\eta = 1$ ) момента сопротивления нагрузки. Для большей точности необходимо рассмотреть:

### 1 Потери в системе

Потери в двигателе (работа в генераторном режиме, квадранты II и IV) содействуют процессу торможения. В любом случае КПД должен рассчитываться в квадрате мощности торможения.

### 2 Момент сопротивления

Возможно существование момента сопротивления, связанного с механическим трением, воздушным потоком и квадратичным моментом вентиляторов.

Эти явления, взятые в рассмотрение, уменьшают мощность торможения. Момент сопротивления или мощность вычитаются из расчетной мощности торможения.

### 3 Активный момент

Дополнительные явления, например, ветровая нагрузка, могут привести к увеличению мощности торможения.

**Требуемая мощность торможения рассчитывается следующим образом:**

$$\hat{P}_{fR} = (\hat{P} - P_{charge}) \times \eta_{total}^2$$

$$\bar{P}_{fR} = (\bar{P} - P_{charge}) \times \eta_{total}^2$$

$$\eta_{total} = \eta_{mec} \times \eta_{mot} \times 0,98$$

$\hat{P}_{fR}$	Реальная максимальная мощность торможения	[Вт]
$\bar{P}_{fR}$	Реальная постоянная мощность торможения	[Вт]
$\eta_{total}$	Суммарный КПД	
$P_{charge}$	Мощность торможения, связанная с моментом сопротивления	[Вт]
$\eta_{variateur}$	КПД преобразователя = 0,98	

При торможении выбор значения тормозного сопротивления производится в соответствии с требуемой мощностью и тормозным циклом.

Как правило:

$$\hat{P}_{\max} = \frac{U_d^2}{R}$$

$\hat{P}_{\max}$	Максимальная мощность торможения при наличии тормозного модуля	[Вт]
$P_{\text{пост.}}$	Постоянная тепловая мощность торможения	[Вт]
$U_d$	Уставка включения тормозного модуля	[В]
$I$	Тепловой ток тормозного сопротивления (см. настройку ТН)	[А]

**Примечание:** преобразователь располагает тепловой защитой тормозного сопротивления (см. Руководство по программированию). Можно также использовать тепловое реле.

Тепловое реле

$P$  = номинальная мощность тормозного сопротивления

$R$  = значение сопротивления

$$P = R I^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \text{номинальный калибр теплового реле}$$

В формулах:  $\hat{P}_{\max} = \frac{U_d^2}{R}$

$\hat{P}_{\max}$  = мощность тормозного модуля

$P_{\text{пост.}}$  =  $I^2 R$  ( $P$  сопротивления)

