

Способы пуска



Пусковой ток

Прямой пуск (DOL)

Пуск типа «звезда – треугольник» (SD)

**Сравнение прямого пуска и
«звезда – треугольник»**

Пуск через автотрансформатор

Плавный пуск

**Пуск с помощью преобразователя
частоты**

Заключение

Способы пуска



Способы пуска

В настоящее время используются различные способы пуска электродвигателей. Современные энергоэффективные двигатели, имеющие более высокие пусковые токи, заставляют уделять большее внимание способам пуска.

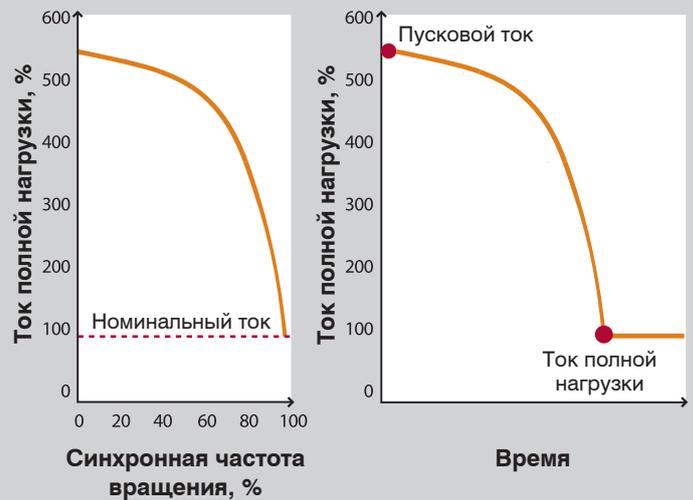
Пусковой ток

Когда на электродвигатель подается напряжение, возникает скачок тока, который называют пусковым током или током при заторможенном роторе. Пусковой ток обычно превышает номинальный в 5-10 раз, но действует кратковременно. После разгона электродвигателя ток падает до номинального.

В соответствии с местными нормами и правилами, для того чтобы снизить пусковой ток, используются различные способы пуска. Вместе с этим необходимо принять ряд мер по стабилизации напряжения питания.

Противоток или ток при заторможенном роторе?

Поведение номинального тока при пуске электродвигателя.



Пусковой ток понижается с разгоном электродвигателя до номинальной частоты вращения

Способы пуска

Прямой пуск

Прямой пуск

Что такое прямой пуск

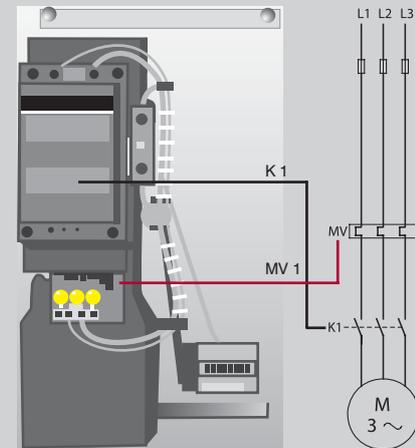
Как следует из названия, прямой пуск означает, что электродвигатель включается прямым подключением к источнику питания при номинальном напряжении. Прямой пуск (direct-on-line starting – DOL) применяется при стабильном питании двигателя, жестко связанного с приводом, например насоса.

Преимущества

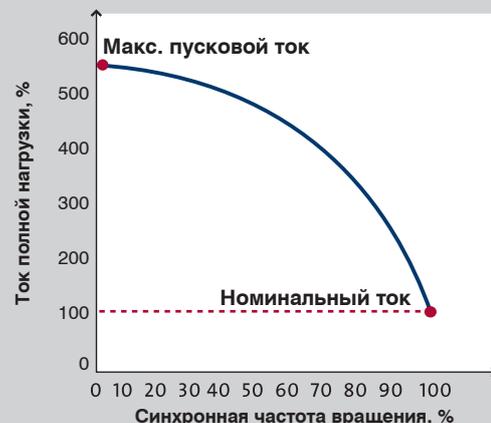
Прямой пуск от сети DOL является самым простым, дешёвым и самым распространённым методом пуска. Кроме того, он даёт наименьшее повышение температуры в электродвигателе во время включения по сравнению со всеми другими способами пуска. Если поступающий ток от сети не имеет специальных ограничений, такой метод является наиболее предпочтительным. На электростанциях в разных странах действуют различные правила и нормы; например, в Дании для трёхфазных электродвигателей с током при заторможенном роторе около 60 А нельзя всегда использовать прямой пуск от сети. В таких случаях, очевидно, необходимо выбирать другие методы пуска. Электродвигатели, предназначенные для частых пусков/отключений обычно оборудованы системой управления, которая состоит из контактора и устройства защиты от перегрузок (термореле).

Недостатки

Для электродвигателей небольшой мощности, работающих без частых пусков/остановов, необходимо самое простое пусковое оборудование, чаще всего это распределитель, управляемый вручную. Напряжение подается непосредственно на клеммы электродвигателя. Для небольших электродвигателей пусковой момент будет составлять от 150% до 300% от номинального, тогда как пусковой ток будет составлять от 300% до 800% от номинального значения или даже выше.



K 1 = Контактор
MV 1 = Реле перегрузки



Пуск «звезда – треугольник»

Пуск «звезда – треугольник»

Что такое пуск переключением «звезда – треугольник»

Целью данного метода пуска, используемого для трёхфазных индукционных электродвигателей, является понижение пускового тока. В момент пуска электропитание к обмоткам статора подключено по схеме «звезда» (Y). Электропитание переключается на схему «треугольник» (Δ), как только электродвигатель разгонится.

Преимущества

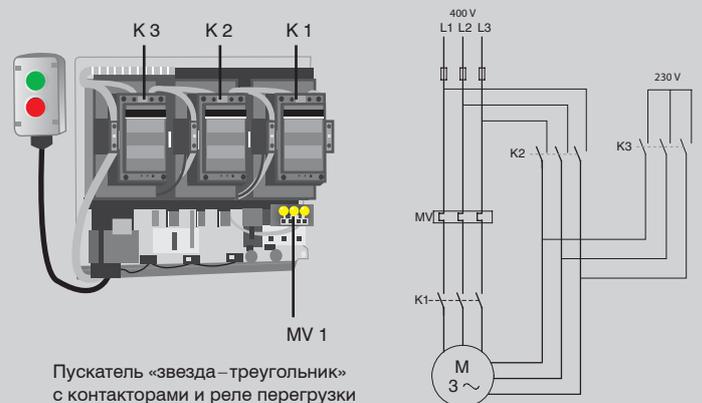
Обычно электродвигатели низкого напряжения мощностью больше 3 кВт рассчитаны на напряжение 400 В при соединении по схеме «треугольник» (Δ) или на 690 В при соединении по схеме «звезда» (Y). Такая унифицированная схема соединения может быть также использована для пуска электродвигателя при меньшем напряжении. Соединение по схеме «звезда – треугольник» даёт низкий пусковой ток, составляющий всего одну треть тока при прямом пуске от сети. Пускатели «звезда – треугольник» особенно подходят при вращении больших масс, когда нагрузка «подхватывается» после того, как достигается частота вращения при номинальной нагрузке.

Недостатки

Подобные пускатели также понижают и пусковой момент, приблизительно на 33%. Данный метод можно использовать только для индукционных электродвигателей, которые имеют подключение к напряжению питания по схеме «треугольник».

Если переключение «звезда – треугольник» происходит при слишком низкой частоте вращения, это может вызвать сверхток, который достигает почти такого же уровня, что и ток при «прямом» пуске DOL. Во время небольшого периода переключения «звезда – треугольник» электродвигатель очень быстро теряет скорость вращения, для восстановления которой также требуется мощный импульс тока.

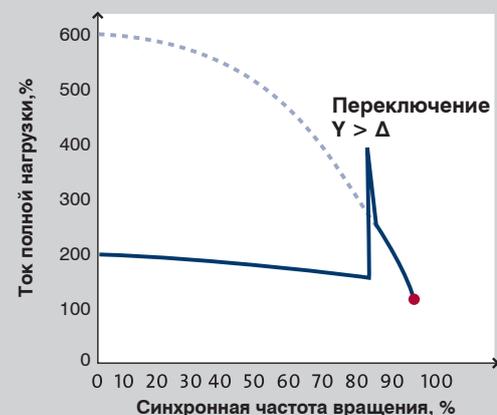
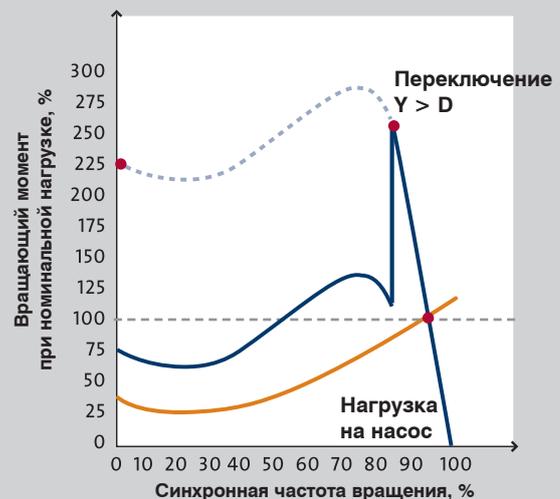
На иллюстрациях справа показана схема работы пускателя Y–D. Пускатель сначала соединяет электродвигатель по схеме «звезда» (контакты K1 и K3). По истечении определённого периода времени, который зависит от конкретной задачи, он переключает двигатель на «треугольник», размыкая контакт K3 и замыкая контакт K2.



Пускатель «звезда – треугольник» с контакторами и реле перегрузки

K 1 = Основной контактор
K 2 = Контактор треугольника
K 3 = Контактор звезды
MV 1 = Реле перегрузки

Однолинейная схема пускателя «звезда – треугольник»



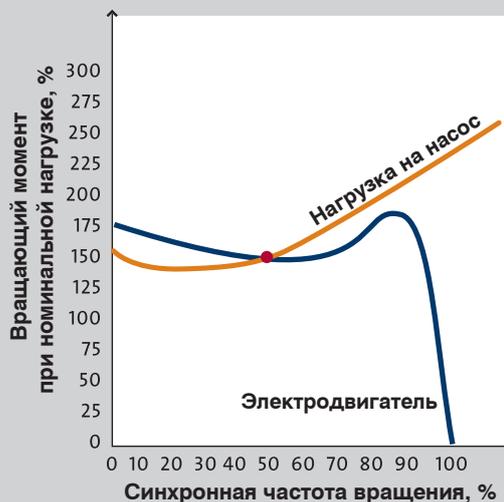
Способы пуска

Пуск «звезда – треугольник»

Насосы и электродвигатели Grundfos, обозначенные $3 \frac{1}{2}$ 380 – 415 В Δ (но HE 690 В Y), могут быть пущены при помощи пускателей «звезда – треугольник», при этом фактическое напряжение на электродвигателе не должно превышать 400 В.

Пусковой момент и ток значительно ниже при пуске «звезда – треугольник», чем при прямом пуске: одна третья тока при DOL.

На примере справа электродвигатель медленно ускоряется до уровня, приблизительно, 50% от номинальной частоты вращения, вследствие несогласованности зависимости частоты вращения электродвигателя от вращающего момента и зависимости нагрузки от вращающего момента



Способы пуска

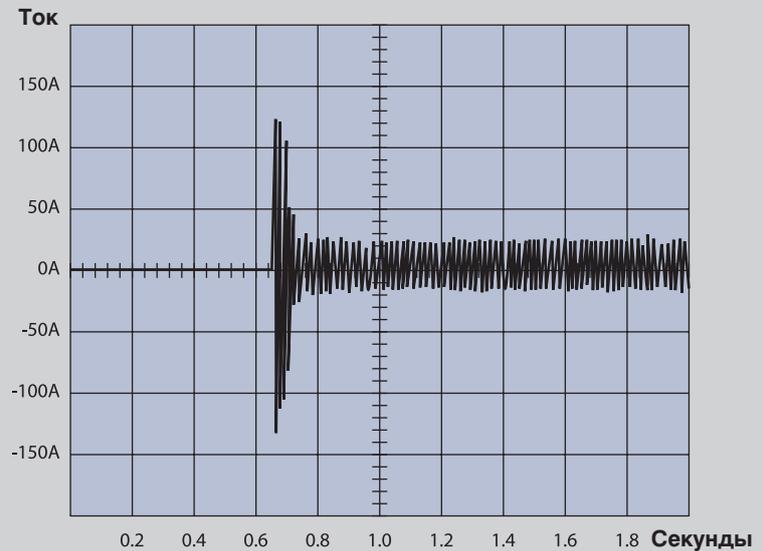


Сравнение DOL и пуска «звезда–треугольник»

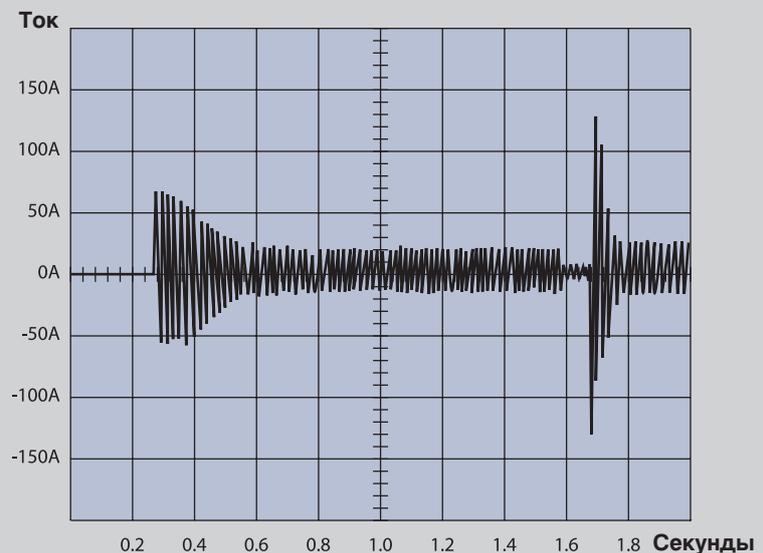
В следующих диаграммах представлены токи для насоса Grundfos CR, приводимого в действие электродвигателем Grundfos MG мощностью 7,5 кВт посредством прямого пуска (DOL) и пуска «звезда–треугольник», соответственно. Как Вы можете видеть, способ пуска DOL характеризуется высоким пусковым током, который с течением времени выравнивается и становится постоянным. Способ пуска «звезда–треугольник» характеризуется более низким пусковым током, однако, в процессе пуска при переходе от «звезды» к «треугольнику» наблюдаются пики.

При пуске по схеме «звезда» ($t = 0,3$ с), ток уменьшается. Однако, во время перехода от «звезды» к «треугольнику» (в точке $t = 1,7$ с), импульс тока достигает того же уровня, что и пусковой ток при прямом пуске. Скачок тока может стать ещё больше, так как в период переключения на двигатель не подаётся питание. Значит, двигатель теряет скорость перед подачей полного напряжения (фазового напряжения).

Сравнение DOL и пуска «звезда–треугольник»



Прямой пуск электродвигателя Grundfos мощностью 7,5 кВт, установленного на насосе Grundfos CR



Пуск электродвигателя Grundfos мощностью 7,5 кВт, установленного на насосе CR способом «звезда–треугольник»

Способы пуска

Пуск через автотрансформатор

Пуск через автотрансформатор

Что такое пуск через автотрансформатор

Как видно из названия, такой пуск осуществляется с помощью автотрансформатора, последовательно соединённого с электродвигателем во время пуска.

Преимущества

Автотрансформатор понижает напряжение (приблизительно 50–80% от полного напряжения), чтобы обеспечить пуск при низком напряжении. В зависимости от заданных параметров напряжение снижается в один или два этапа. Понижение напряжения, подаваемого на электродвигатель одновременно, приведёт к уменьшению пускового тока и вращающего пускового момента, но данный способ пуска даёт самый высокий вращающий момент электродвигателя. Если в определённый момент времени к электродвигателю не подаётся питание, он не потеряет скорость вращения, как и в случае с пуском переключением «звезда–треугольник». Время переключения от пониженного напряжения к полному напряжению можно корректировать.

Недостатки

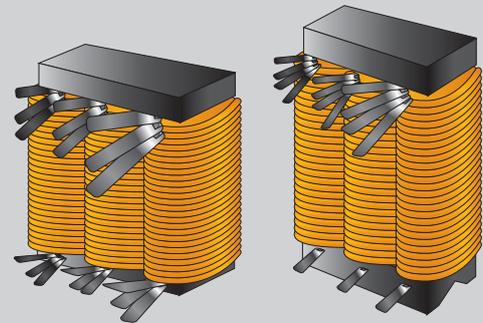
Помимо уменьшения пускового момента, способ пуска через автотрансформатор имеет ещё один недостаток. Как только электродвигатель начинает работать, он переключается на сетевое напряжение, что вызывает скачок тока.

Вращающий момент в зависимости от напряжения

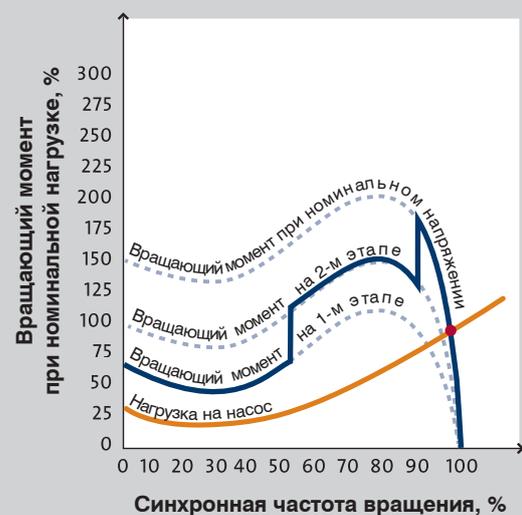
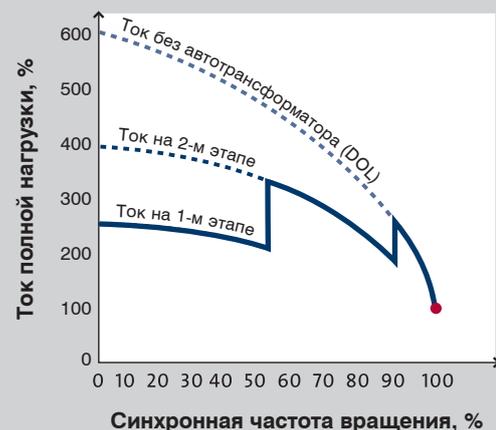
Значения пускового момента пропорциональны квадрату напряжения.

$$\left(\frac{\text{Напряжение}_2}{\text{Напряжение}_1} \right)^2 = \frac{\text{Вращающий момент}_2}{\text{Вращающий момент}_1}$$

$$\left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = \frac{T_2}{T_1}$$



Автотрансформаторы и стабилизаторы





Плавный пуск

Преимущества «плавного» пуска

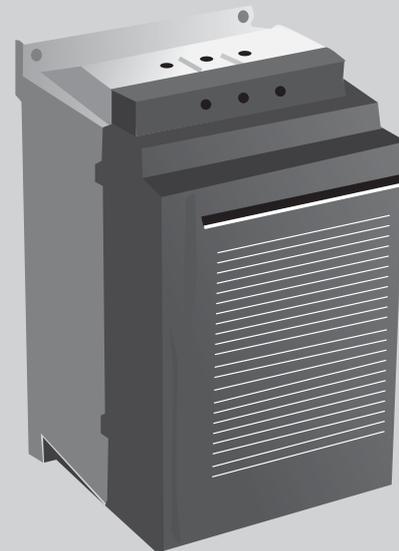
Принцип «плавного» пуска основан на полупроводниках. Через энергетическую цепь и цепь управления данные полупроводники понижают начальное напряжение электродвигателя. Это приводит к уменьшению вращающего момента электродвигателя. В процессе пуска мягкий пускатель постепенно повышает напряжение электродвигателя, что позволяет электродвигателю разогнаться до номинальной скорости вращения, не образуя большого вращающего момента или пиков тока. Плавные пускатели могут использоваться также для управления торможением электродвигателя. Плавные пускатели не так дороги, как преобразователи частоты.

Недостатки

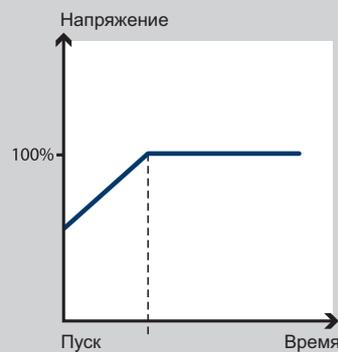
Тем не менее, у них те же проблемы, что и у преобразователей частоты: они могут добавить в систему синусоидальные токи (помехи), что может повлиять на ее функционирование.

Данный способ также обеспечивает подачу пониженного напряжения к электродвигателю во время пуска. Плавный пускатель включает электродвигатель при пониженном напряжении, которое затем увеличивается до полной величины. Напряжение в плавном пускателе уменьшается за счет фазового сдвига. Данный способ пуска не вызывает образования скачков тока. Пусковой период и пусковой ток можно задать.

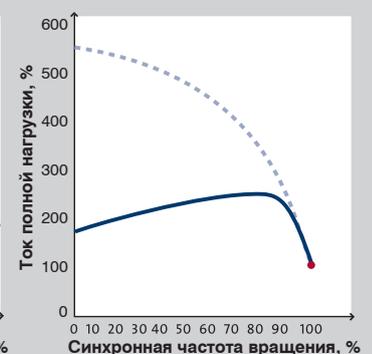
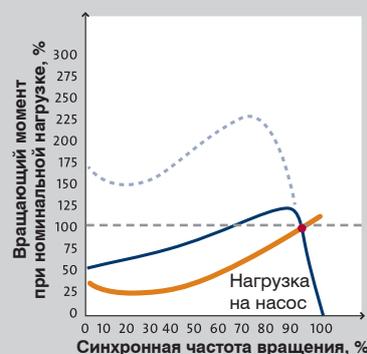
Плавный пуск



Плавный пускатель



Линейное изменение напряжения для плавного пускателя. Пусковой период составляет около 1 сек.



Способы пуска



Пуск с помощью преобразователя частоты

Что такое пуск с помощью преобразователя частоты
Преобразователи частоты предназначены для пуска и управления электродвигателем.

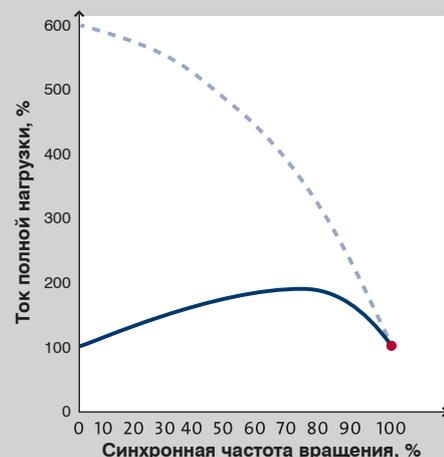
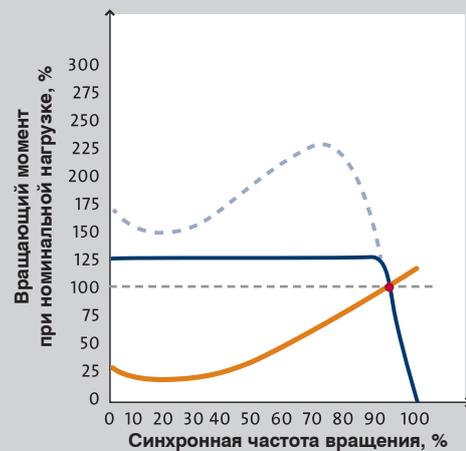
Преимущества

Преобразователь частоты позволяет снизить пусковой ток, так как электродвигатель имеет жесткую зависимость между током и вращающим моментом.

Недостатки

Преобразователи частоты всё ещё дороже устройств плавного пуска, кроме того, как и устройства плавного пуска, они добавляют в сеть синусоидальные токи.

Пуск с помощью преобразователя частоты





Пусковые периоды

Говоря о способах пуска, которые уменьшают пусковой ток, следует отметить, что период пуска не должен быть долгим. Слишком продолжительные периоды пуска могут вызвать перегрев обмоток.

Заклучение

Задача любых способов пуска электродвигателя заключается в том, чтобы согласовать характеристики вращающего момента электродвигателя с характеристиками механической нагрузки, при этом необходимо, чтобы пиковые токи не превышали допустимых значений. Существуют различные способы пуска, каждый из которых имеет свои особенности. В следующей таблице в краткой форме представлены сравнительные характеристики наиболее распространённых способов пуска.

Заклучение

Способ пуска	Преимущества	Недостатки
Прямой пуск (DOL)	Простой и экономичный. Безопасный пуск. Самый большой пусковой момент	Высокий пусковой ток.
Пуск «звезда/треугольник» (SD)	Уменьшение пускового тока в три раза.	Скачки тока при переключении «звезда – треугольник». Не подходит, если нагрузка имеет небольшую массу (безинерционная). Пониженный пусковой момент.
Автотрансформатор	Уменьшение пускового тока на u^2 , где u – понижение напряжения, напр., 60% = 0,60.	Скачки тока при переходе от пониженного к полному напряжению. Пониженный пусковой момент.
Плавный пуск	Плавный пуск. Импульсы тока отсутствуют. Меньший гидравлический удар при пуске насоса. Уменьшение пускового тока на требуемую величину, обычно в 2-3 раза.	Пониженный пусковой момент.
Частотный пускатель	Импульсы тока отсутствуют. Меньший гидравлический удар при пуске насоса. Уменьшение пускового тока, обычно, до уровня тока полной нагрузки. Можно использовать для непрерывной подачи питания к электродвигателю.	Пониженный пусковой момент. Высокая стоимость.