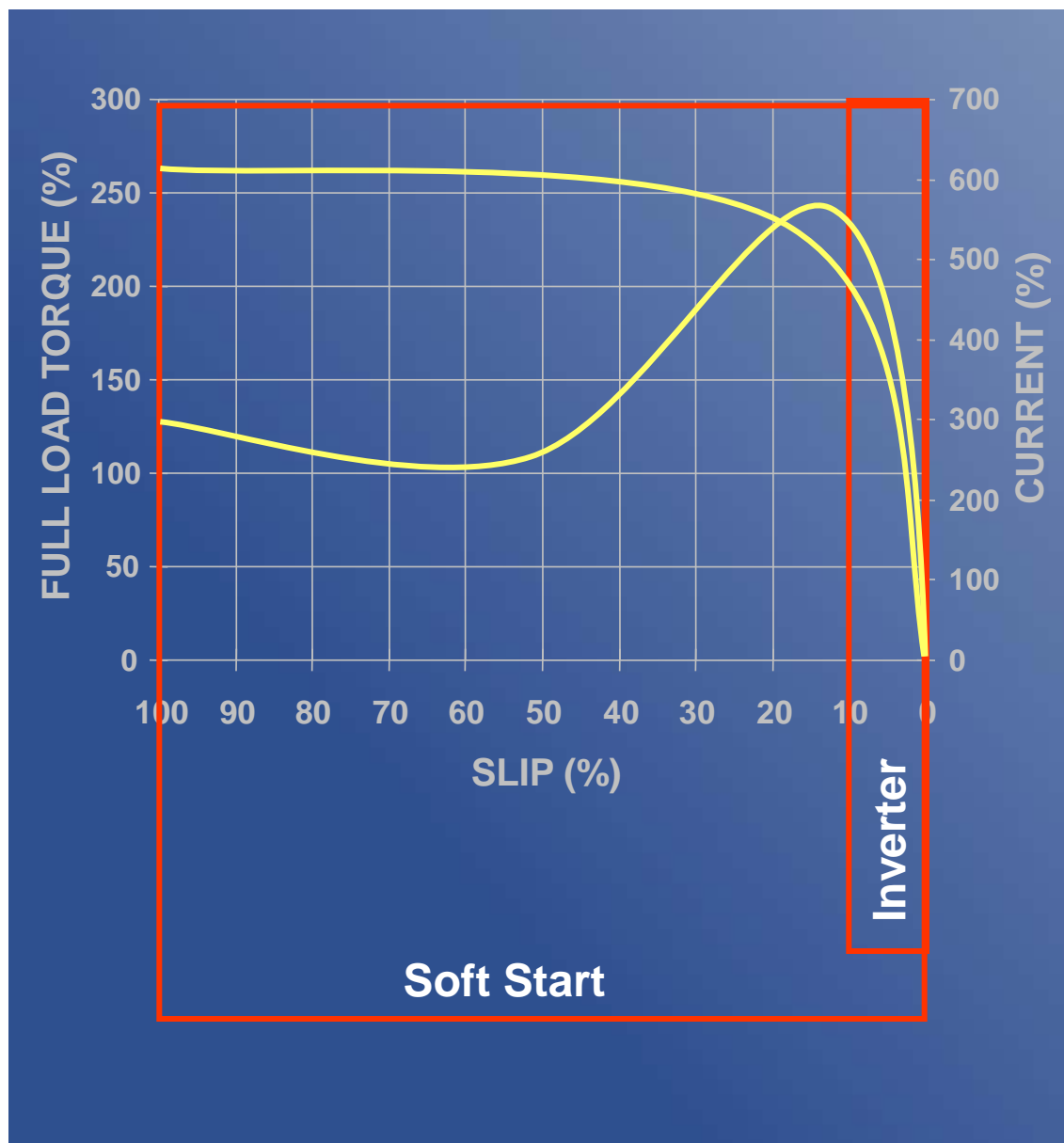


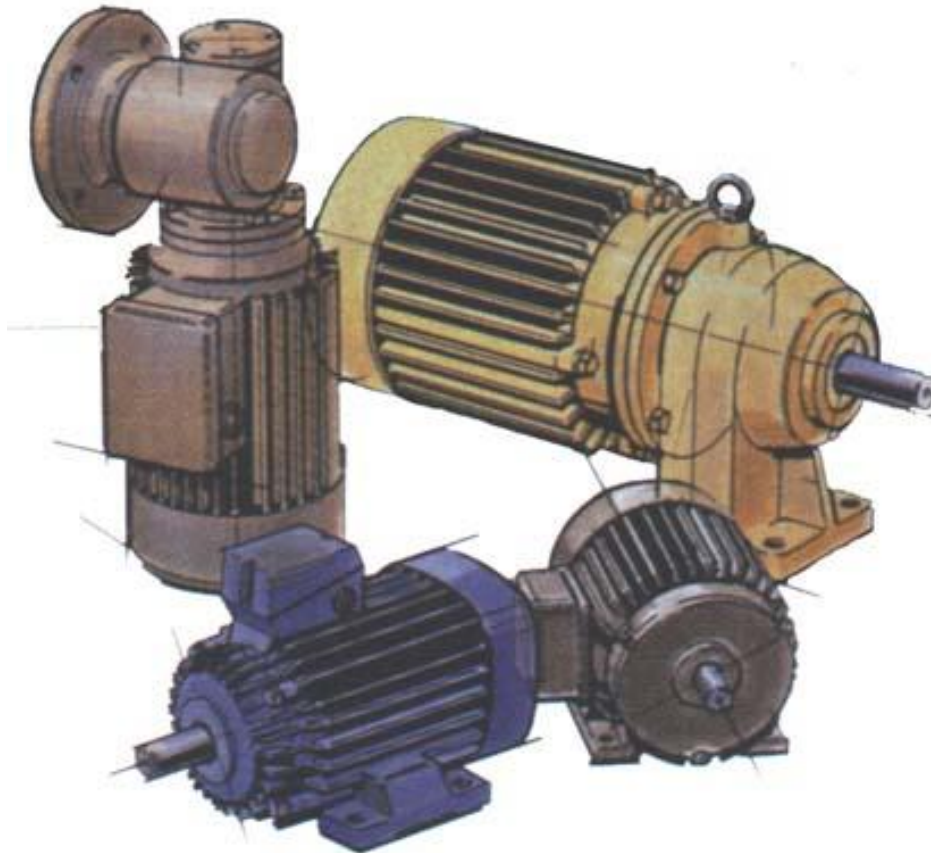
Motor Starter Theory



Low Slip v Full Slip

При работе с частотным преобразователем важны характеристики только в области низкого скольжения.

Наоборот, при работе с софт-стартером важны характеристики двигателя во всём диапазоне скольжения.

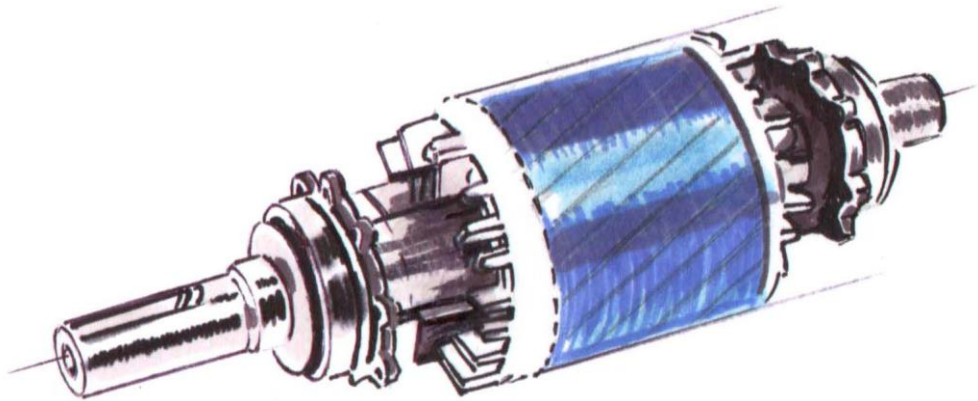


Характеристики двигателя

Пусковые характеристики двигателя устанавливают пределы, которые могут быть достигнуты двигателем вместе с пускателем полного или пониженного напряжения.

Особенно важно рассмотреть пусковые характеристики двигателя, если требуется:

- Минимизировать пусковой ток
- Максимизировать пусковой момент



Характеристики двигателя

Конструкция ротора влияет на пусковые характеристики.

Конструкция статора влияет на скоростные характеристики.

Форма, положение и материал, из которого изготовлены пластины ротора влияют на форму тока и момент, развиваемый двигателем во время пуска.

Пример типичных двигателей мощностью 110 кВт

Motor	n (об/мин)	FLC (A)	LRC (%FLC)	LRT (%FLT)	% FL Ef'ncy	Момент @3xFLC
A	1470	191	600	263	93	65.8
B	1475	184	600	190	93.5	47.5
C	1475	191	570	150	92	41.6
D	1480	187	660	190	94.5	39.2
E	1470	185	550	120	92	36
F	1470	191	670	150	93	30.1
G	1480	190	780	200	94	29.6
H	1475	182	850	220	93.5	27.4
I	1480	190	670	120	94	24

Типичные параметры двигателя

Пусковые характеристики двигателя могут быть получены из данных двигателя.

В этой таблице детально представлены данные для двигателей мощностью 110 кВт.

Sample Of Typical 110kW Motors

Motor	Speed (rpm)	FLC (amps)	LRC (%FLC)	LRT (%FLT)	% FL Ef'ncy	Torque @3xFLC
A	1470	191	600	263	93	65.8
B	1475	184	600	190	93.5	47.5
C	1475	191	570	150	92	41.6
D	1480	187	660	190	94.5	39.2
E	1470	185	550	120	92	36
F	1470	191	670	150	93	30.1
G	1480	190	780	200	94	29.6
H	1475	182	850	220	93.5	27.4
I	1480	190	670	120	94	24



LRC ranges from 550% to 850%

Пусковой ток

Максимальный пусковой ток двигателя при полном напряжении определяется током заторможенного ротора (LRC).

Для разных двигателей LRC разный.

Sample Of Typical 110kW Motors

Motor	Speed (rpm)	FLC (amps)	LRC (%FLC)	LRT (%FLT)	% FL Ef'ncy	Torque @3xFLC
A	1470	191	600	263	93	65.8
B	1475	184	600	190	93.5	47.5
C	1475	191	570	150	92	41.6
D	1480	187	660	190	94.5	39.2
E	1470	185	550	120	92	36
F	1470	191	670	150	93	30.1
G	1480	190	780	200	94	29.6
H	1475	182	850	220	93.5	27.4
I	1480	190	670	120	94	24



LRT ranges from 120% to 263%

Пусковой момент

Пусковой момент двигателей характеризуется величинами момента заторможенного ротора (LRT).

LRT уровни значительно варьируются для разных двигателей.

В этом примере, мотор А развивает в два раза больший момент во время пуска, чем мотор I.

Sample Of Typical 110kW Motors

Motor	Speed (rpm)	FLC (amps)	LRC (%FLC)	LRT (%FLT)	% FL Ef'ncy	Torque @3xFLC
A	1470	191	600	263	93	65.8
B	1475	184	600	190	93.5	47.5
C	1475	191	570	150	92	41.6
D	1480	187	660	190	94.5	39.2
E	1470	185	550	120	92	36
F	1470	191	670	150	93	30.1
G	1480	190	780	200	94	29.6
H	1475	182	850	220	93.5	27.4
I	1480	190	670	120	94	24



Момент развиваемый при 3 x FLC

LRC & LRT работают вместе

LRC & LRT должны рассматриваться вместе при определении пусковых характеристик двигателей.

В примере двигателя ранжированы по развиваемому моменту при трёхкратном пусковом токе.

Motor	Speed (rpm)	FLC (amps)	LRC (%FLC)	LRT (%FLT)	% FL Ef'ncy	Torque @3xFLC
A	1470	191	600	263	93	65.8
B	1475	184	600	190	93.5	47.5
C	1475	191	570	150	92	41.6
D	1480	187	660	190	94.5	39.2
E	1470	185	550	120	92	36
F	1470	191	670	150	93	30.1
G	1480	190	780	200	94	29.6
H	1475	182	850	220	93.5	27.4
I	1480	190	670	120	94	24

Reduced Voltage Starting Amplifies Motor Differences

Момент снижается в квадратичной зависимости от снижения тока.

Двигатели В и G развивают почти одинаковый момент при полном напряжении.

Двигатель В развивает на 60% больший пусковой момент при 3 x FLC.

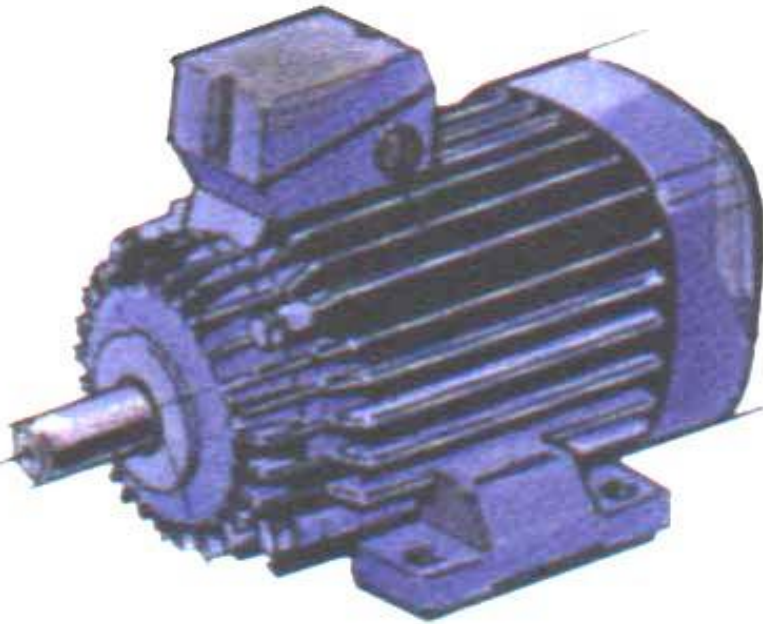
$$\text{Start Torque} = \text{LRT} \times \left(\frac{\text{Start Current}}{\text{LRC}} \right)^2$$

$$65.8\% = 263\% \times \left(\frac{300\%}{600\%} \right)^2$$

Motor	LRC (%FLC)	LRT (%FLT)	TORQUE @ 3 X FLC
A	600	263	65.8
B	600	190	47.5
C	570	150	41.5
D	660	190	39.3

Как вычислить пусковой момент

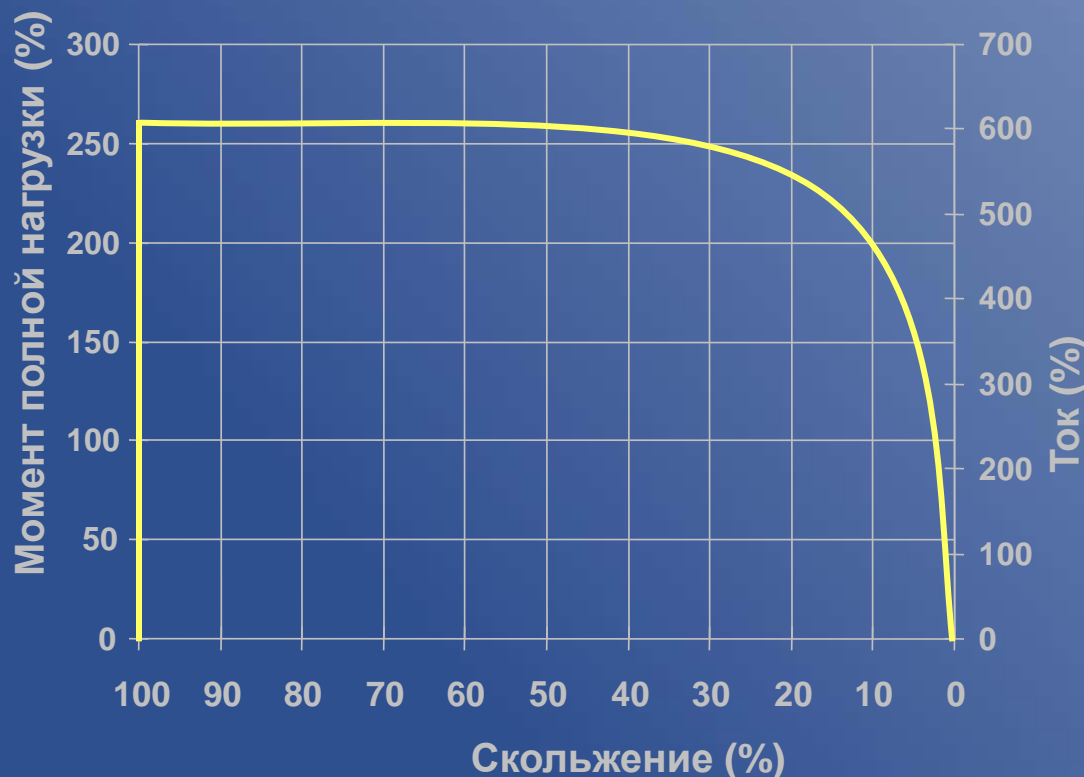
Следуй примеру и вычисли пусковой момент при 3 x FLC для моторов B, C и D.



Резюме

Выбор мотора с низким током заторможенного ротора (LRC) и высоким моментом заторможенного ротора (LRT) позволит:

- Снизить пусковой ток.
- Увеличить пусковой момент.
- Снизить стоимость софт-стартера.

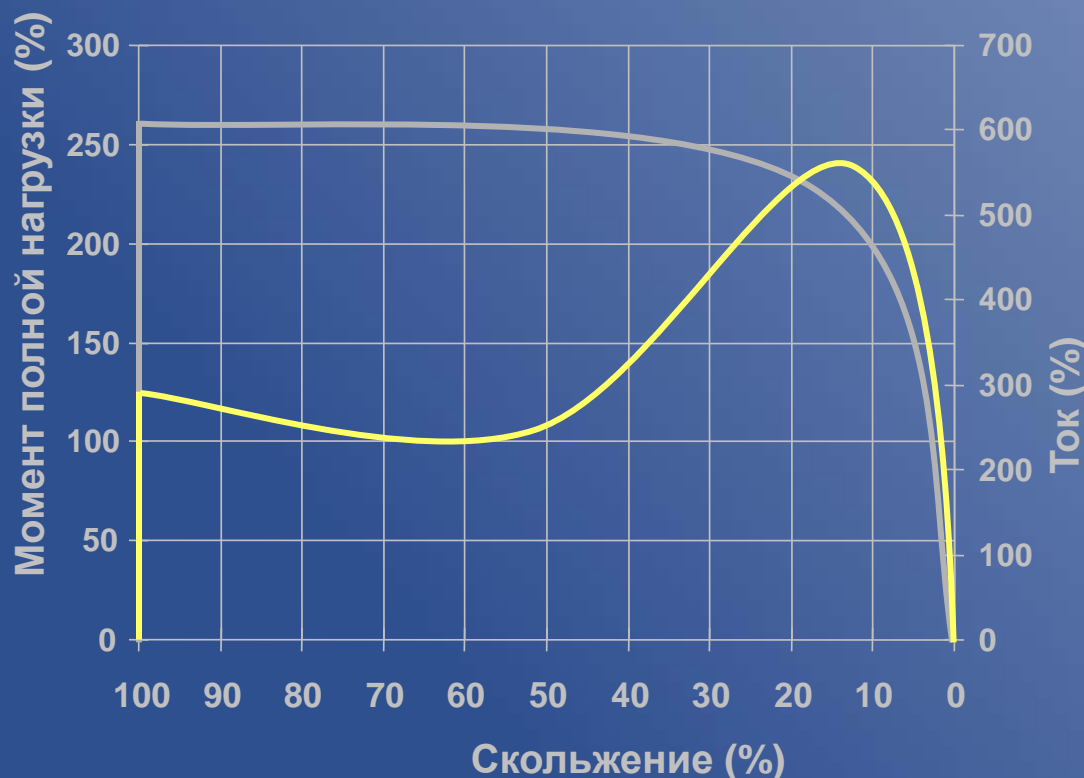


Прямой пуск на полное напряжение

Ток мгновенно вырастает до уровня LRC. Этот переходный процесс приводит к нежелательным эффектам в сети.

Ток постепенно падает по мере повышения скорости двигателя.

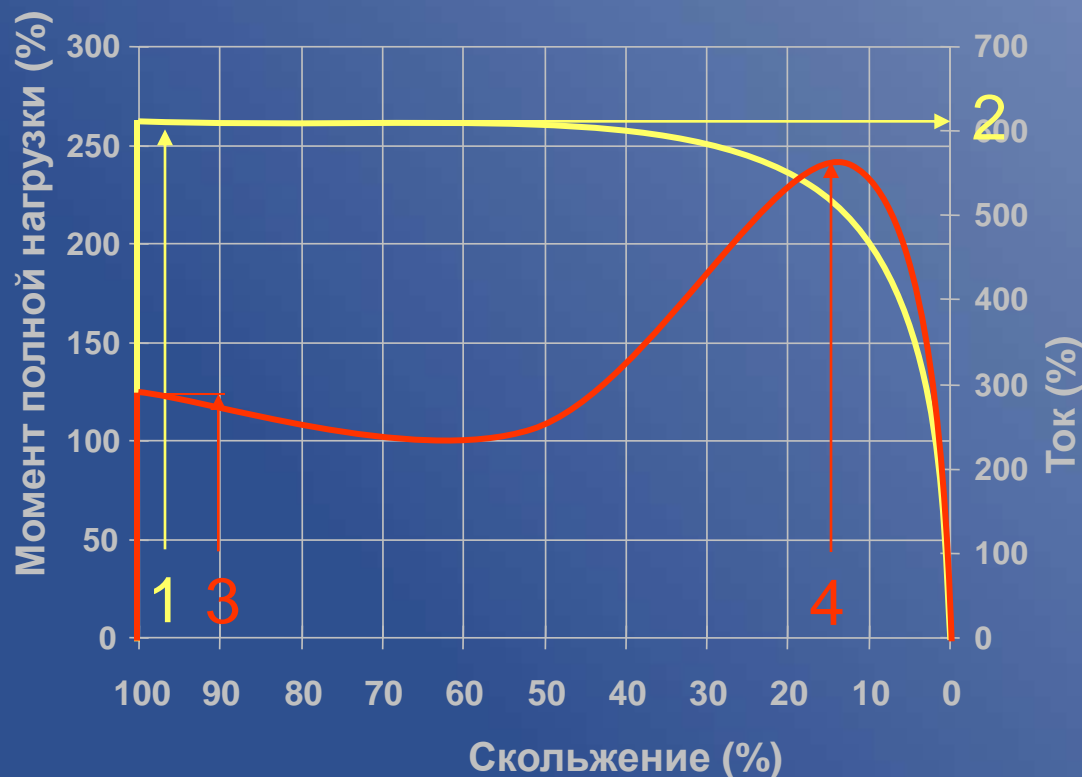
Нагрузка двигателя влияет только на время ускорения, но не на величину тока, которая всегда равна LRC.



Прямой пуск на полное напряжение

Момент мгновенно вырастает до уровня LRT, этот скачок момента может повредить оборудование.

Типичный момент падает от уровня LRT до Pull Out Torque перед тем как вырасти до Breakdown Torque сразу перед номинальной скоростью.



Ограничения прямого пуска

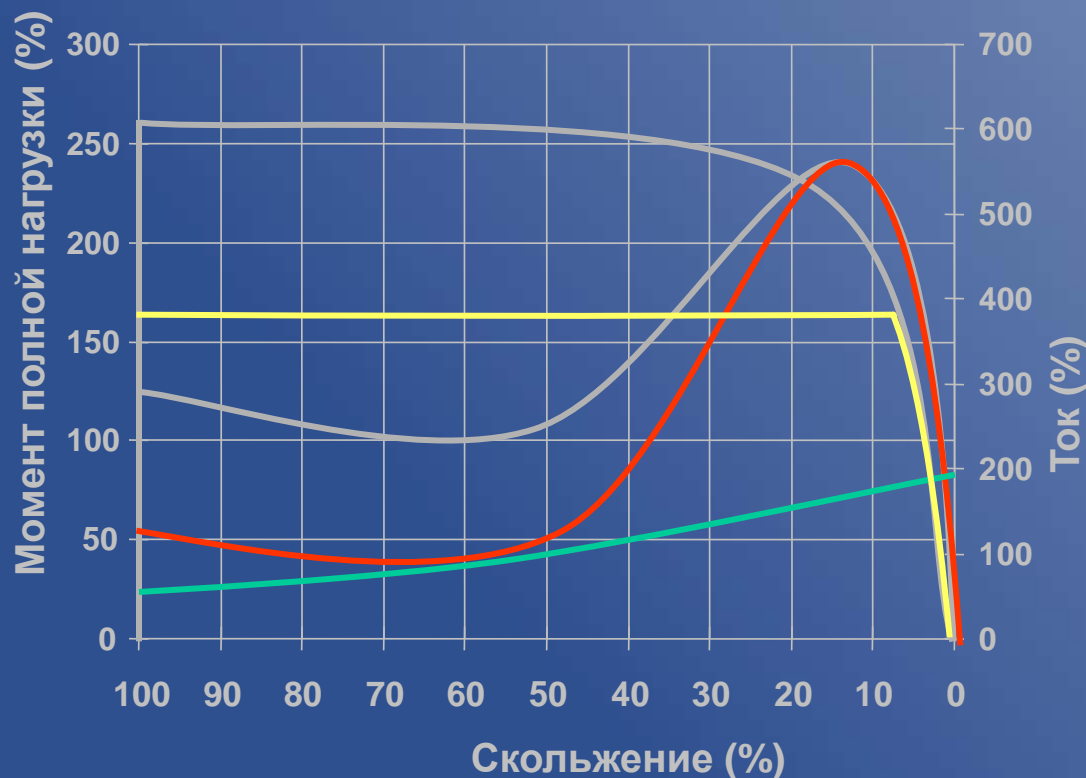
1. Скачок тока
2. Величина тока
3. Скачок момента
4. Величина момента

Пуск на пониженном напряжении пытается преодолеть эти ограничения, прикладывая напряжение постепенно.

Motor Starter Theory



$$T_{ST} = LRT \times \left(\frac{I_{ST}}{LRC} \right)^2$$

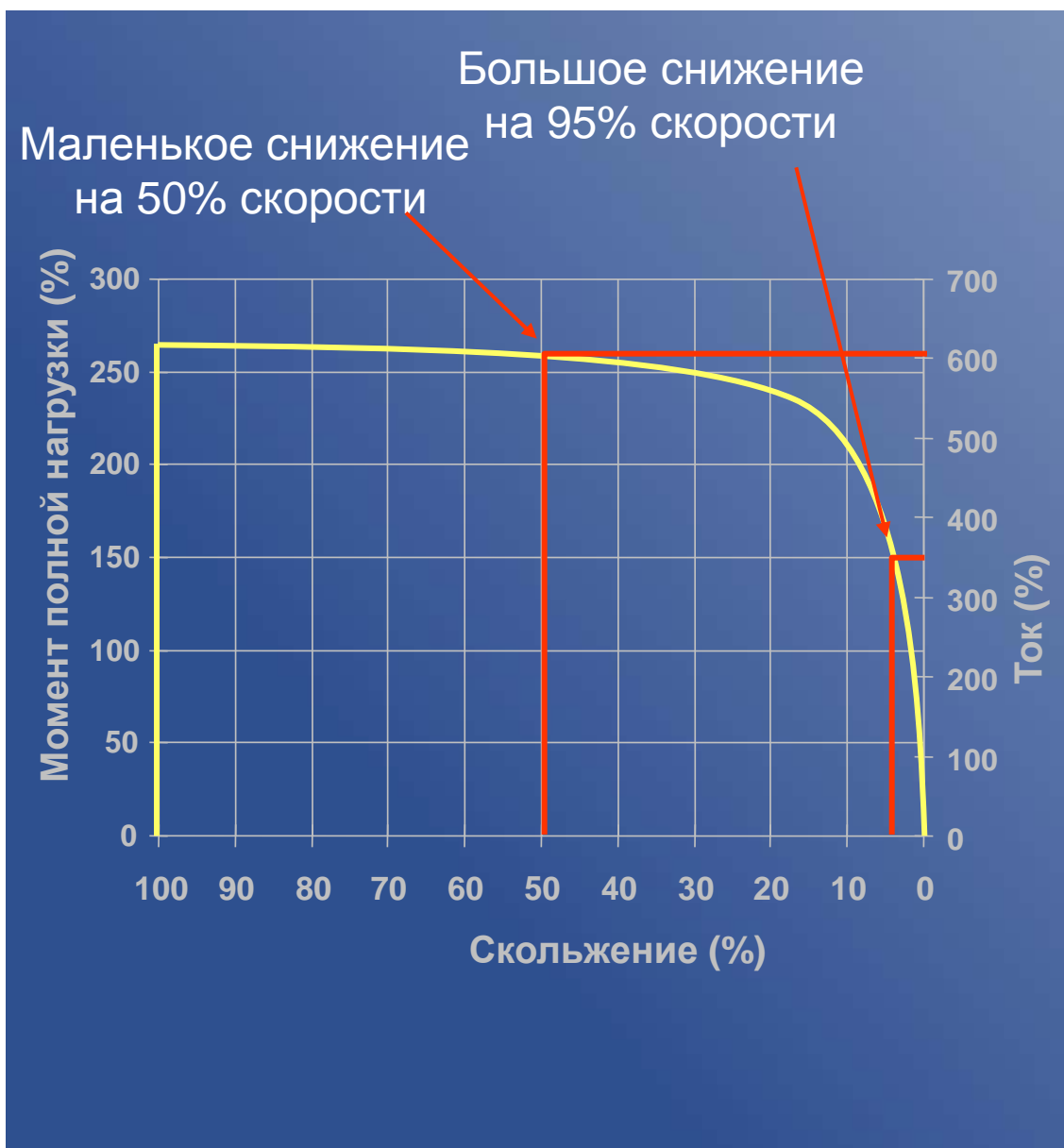


Пуск на пониженном напряжении

Снижает пусковой ток.

Снижает пусковой момент пропорционально квадрату тока.

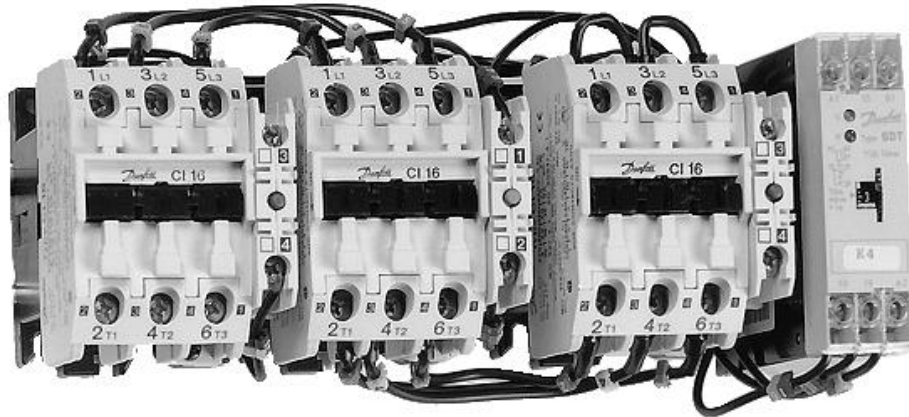
Ток может быть снижен только до такой точки, где момент на валу двигателя превышает момент нагрузки.



Пуск на пониженном напряжении

Для получения необходимого эффекта, стартёр пониженного напряжения должен обеспечить ускорение двигателя до 90% скорости перед включением полного напряжения.

Ниже этой скорости необходимо пройти все этапы почти до уровня LRC, что лишает всех преимуществ стартёра пониженного напряжения.



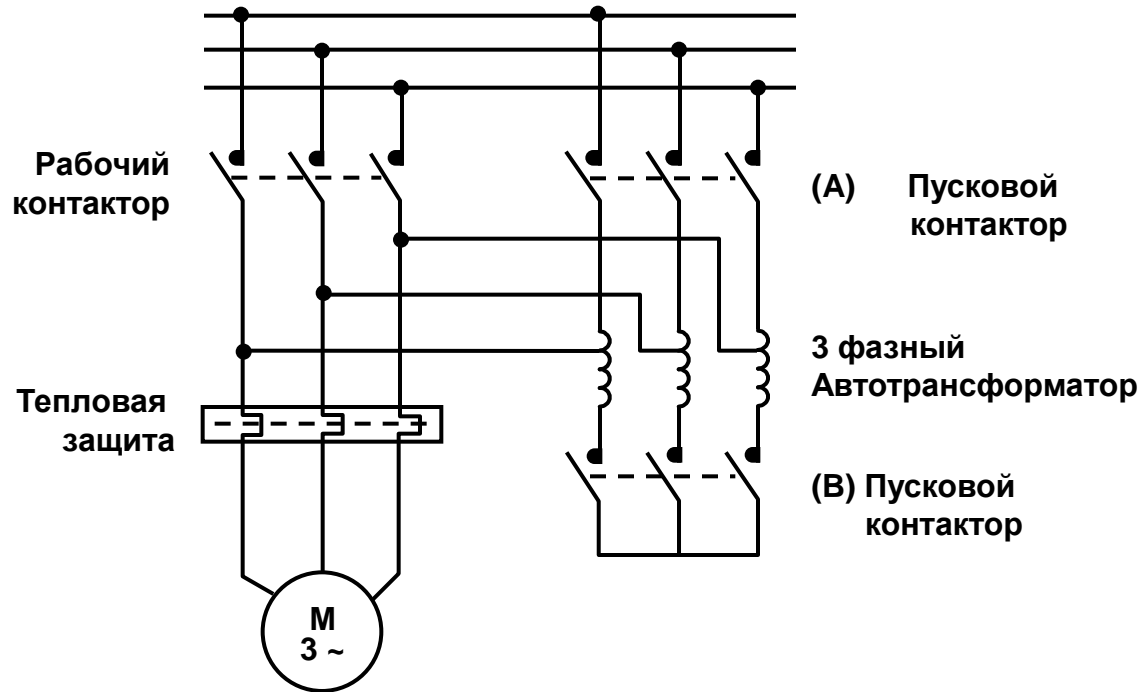
Стартеры пониженного напряжения

Электромеханические

- Звезда/треугольник
- Автотрансформатор
- Первичные сопротивления

Электронный

- Soft Start

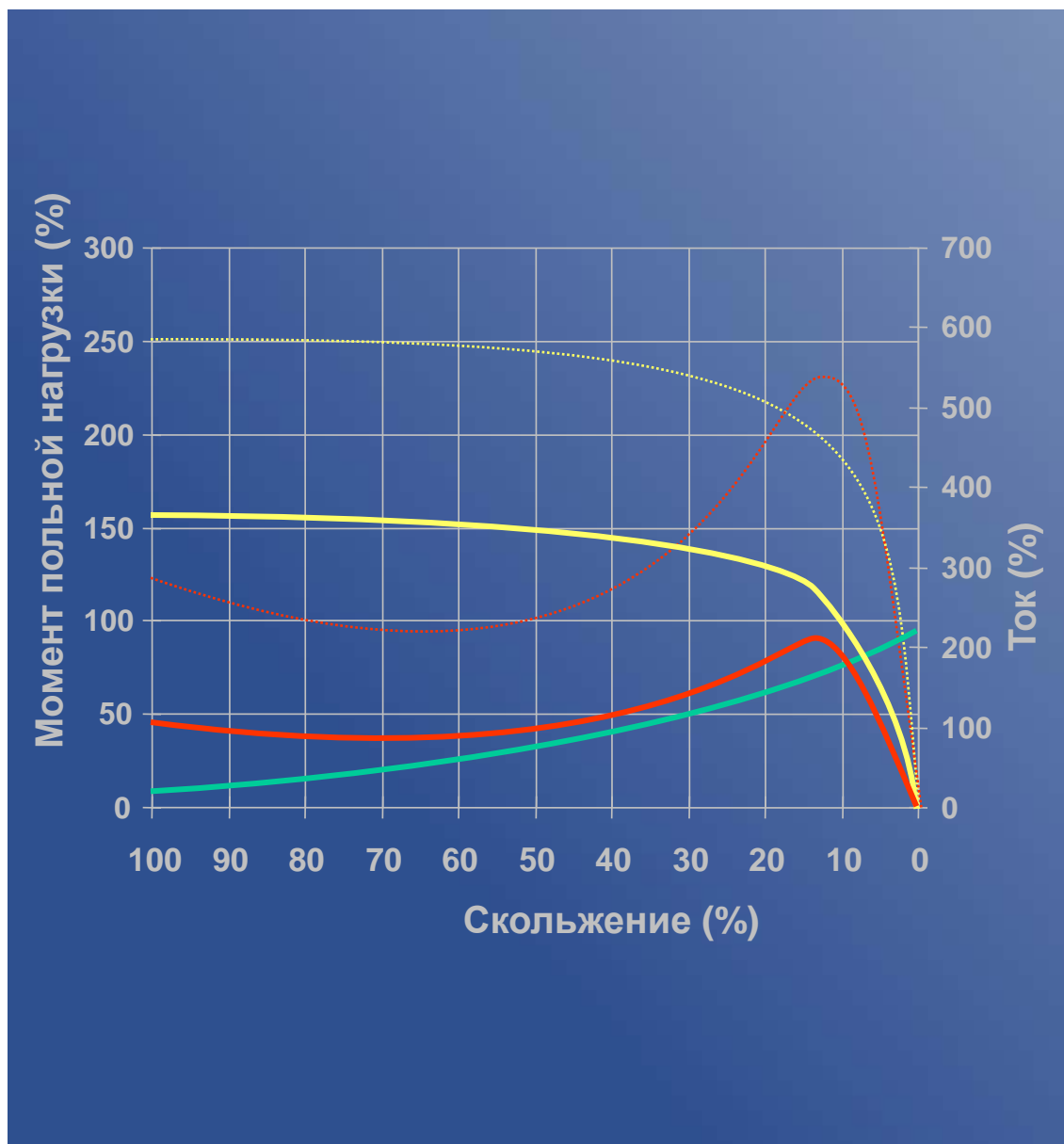


Автотрансформаторы

Эти стартеры используют автотрансформатор для снижения напряжения во время пуска.

Трансформатор имеет ряд отпаяк в некотором диапазоне выходного напряжения для создания пускового напряжения.

Ток двигателя снижается при снижении пускового напряжения, при этом благодаря трансформатору линейный ток меньше актуального тока двигателя.

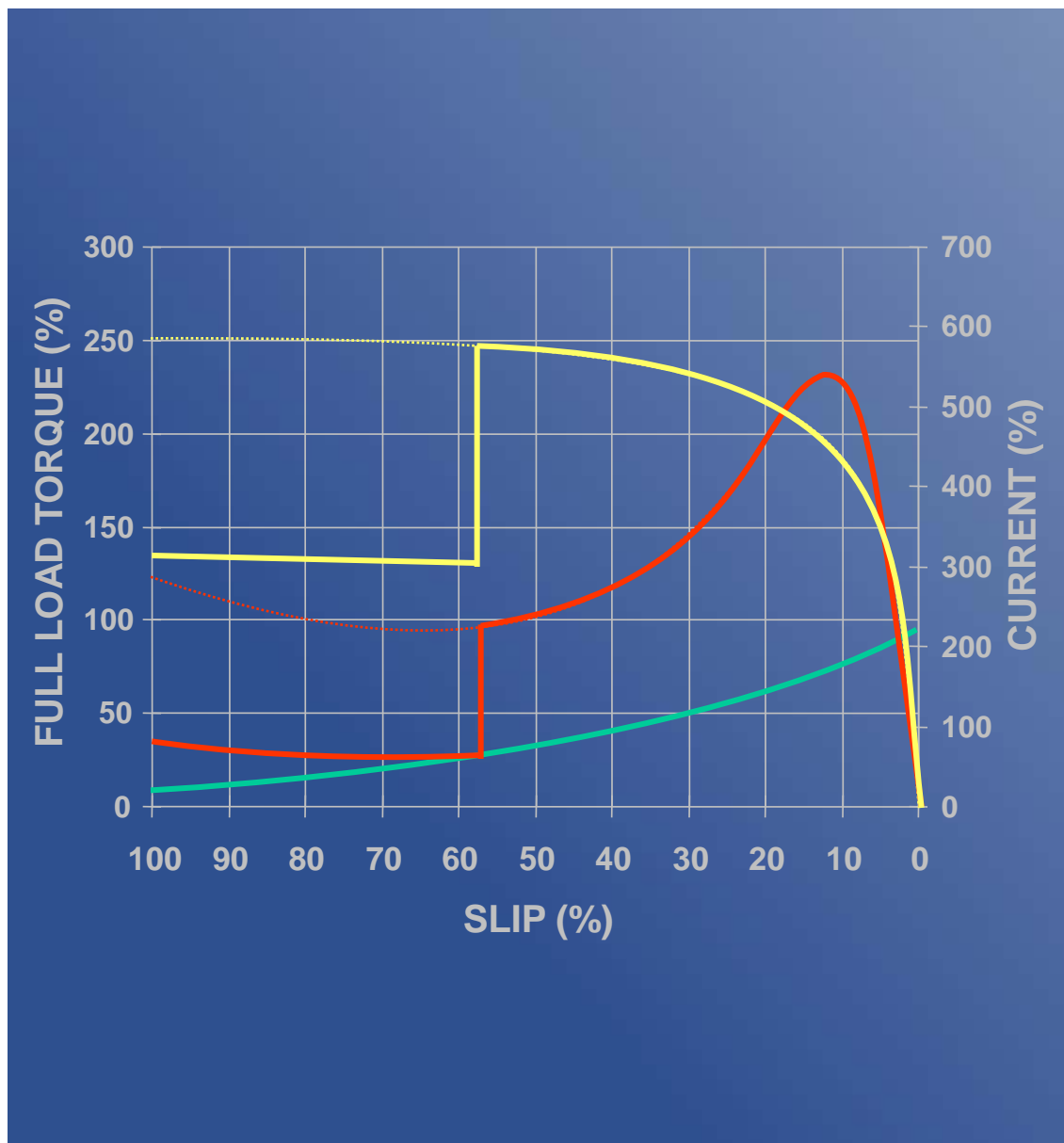


Автотрансформаторы

С отпайкой на 60%

Ограничения:

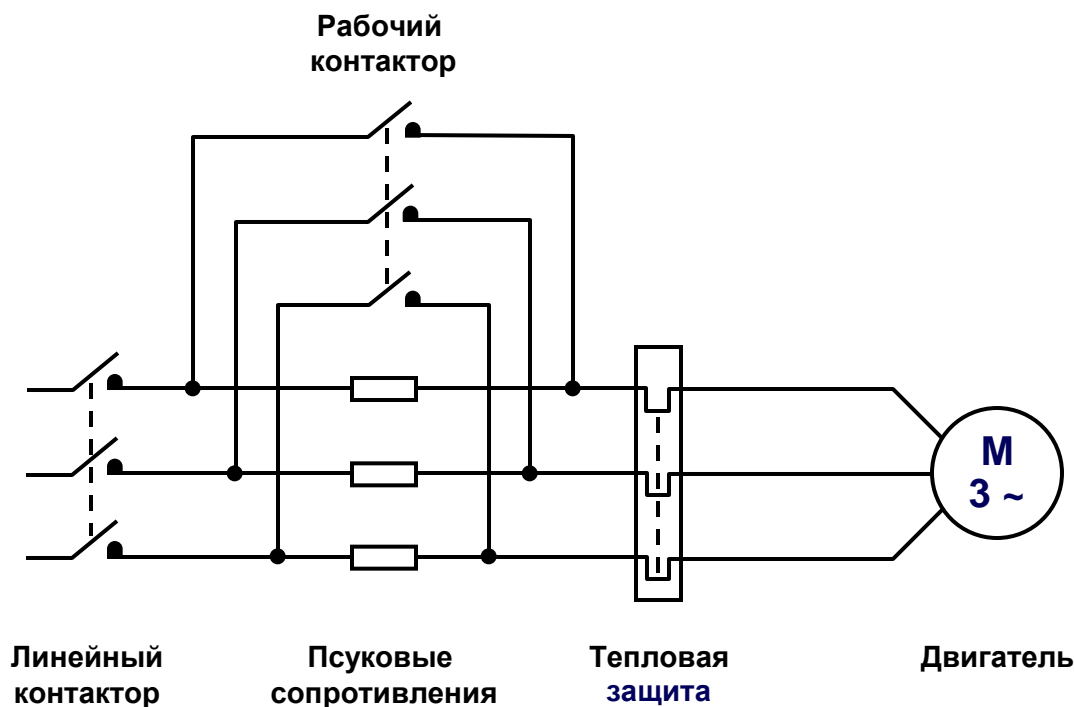
- Ограниченное число отпаяк
- Ограниченное количество пусков в час
- Момент снижается во всём диапазоне скорости
- Дорогой



Автотрансформаторы

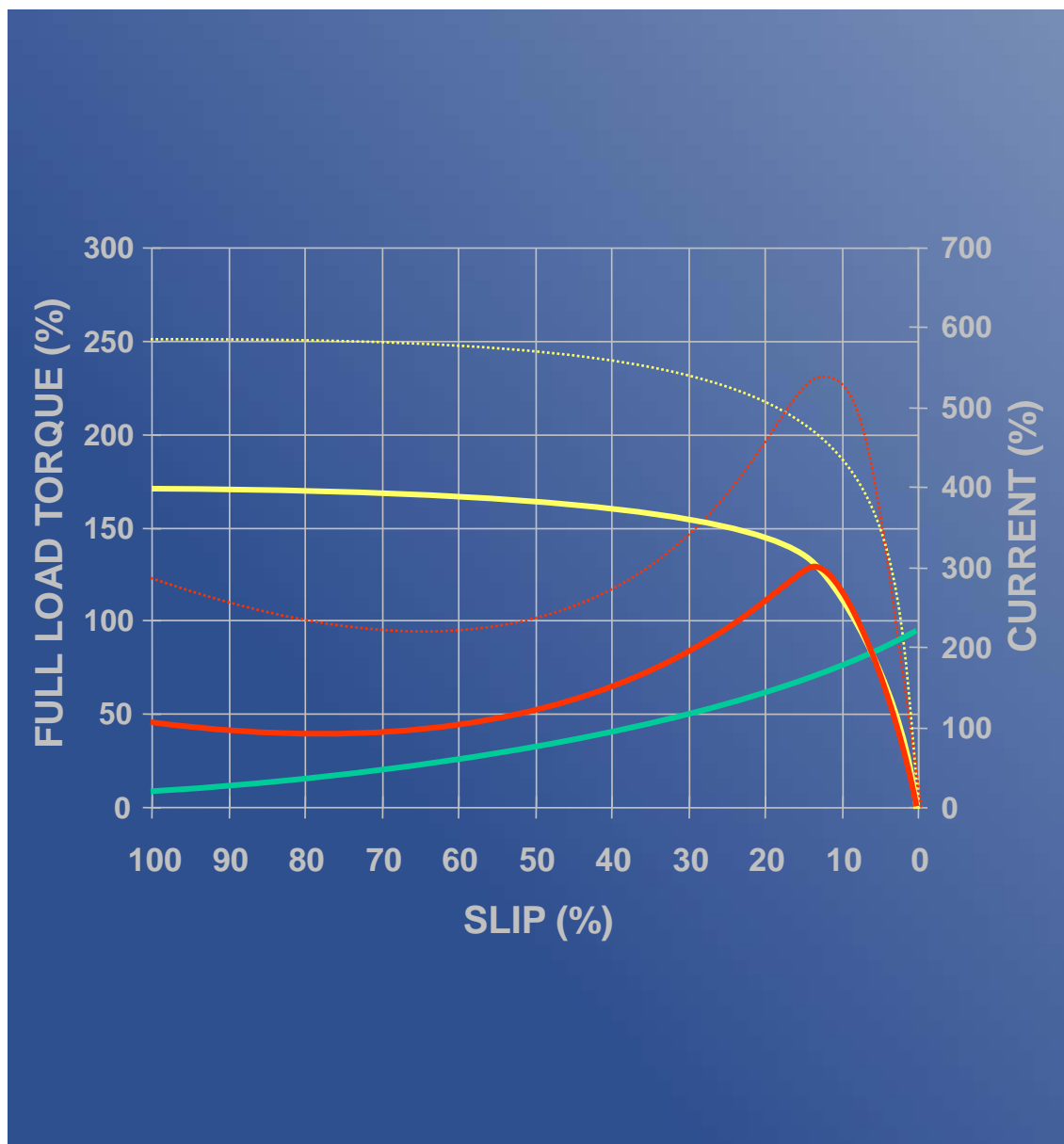
С отпайкой на 50%

Начальное пусковое напряжение задаётся выбором отпайки, а время пуска контролируется таймером. Если пусковое напряжение слишком мало или не правильно подобрано время пуска, то переход на полное напряжение может произойти при скорости более низкой, чем номинальная, в результате будем иметь большой ток и скачок момента.



Первичные сопротивления

Резисторы включенные последовательно в каждую фазу между изолирующим контактором и двигателем. Напряжение падает на резисторах, в результате на двигатель подаётся пониженное напряжение, таким образом снижается пусковой ток и момент.



Первичные резисторы

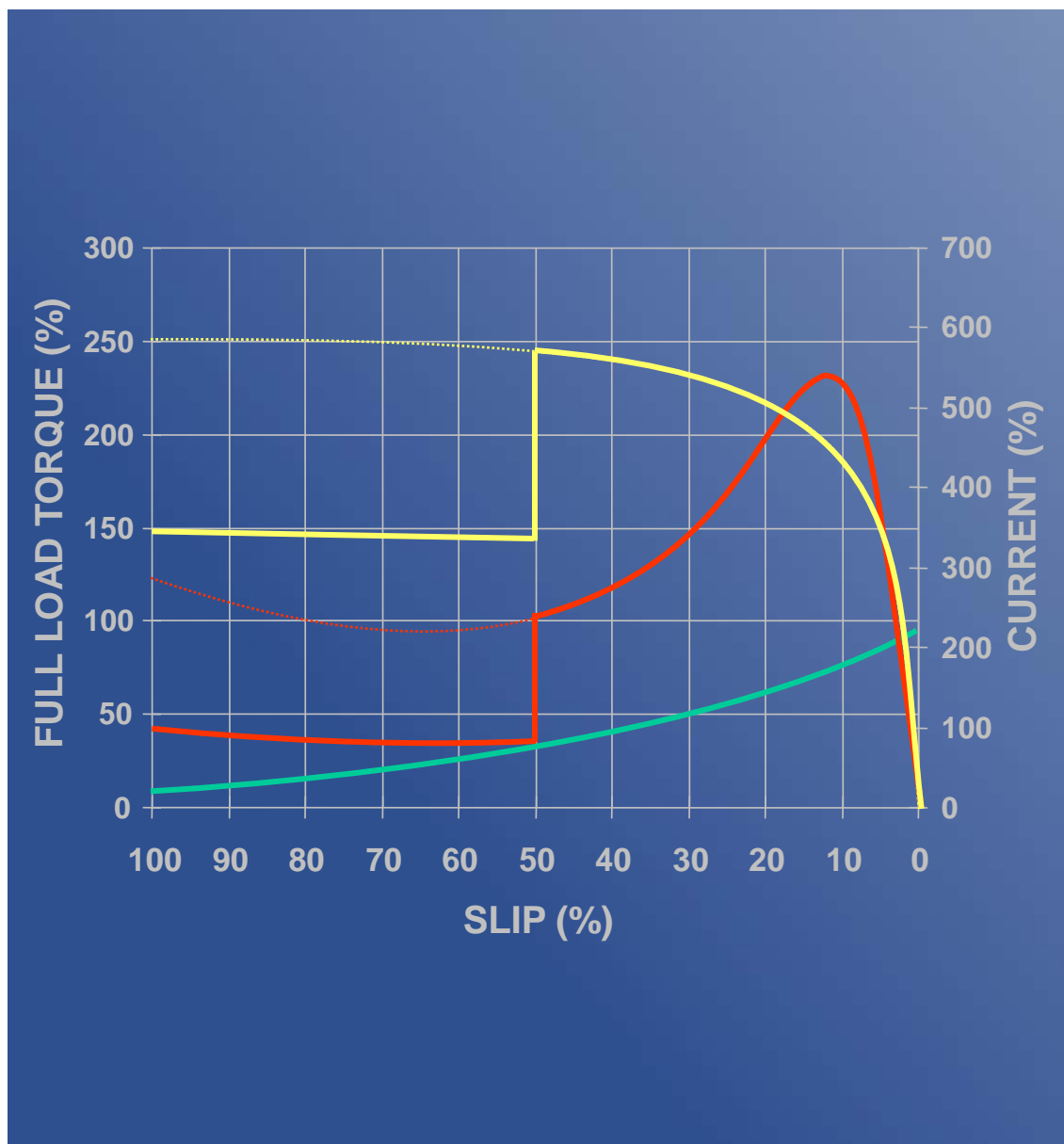
Выбранные для 4 x FLC пускового тока

Ограничения:

- Трудно изменить сопротивление
- Рассеивают много тепла
- Ограничивают число пусков в час
- Пусковые характеристики меняются между пусками, если резисторы охлаждаются не до конца
- Тяжело запустить высокоинерционные нагрузки

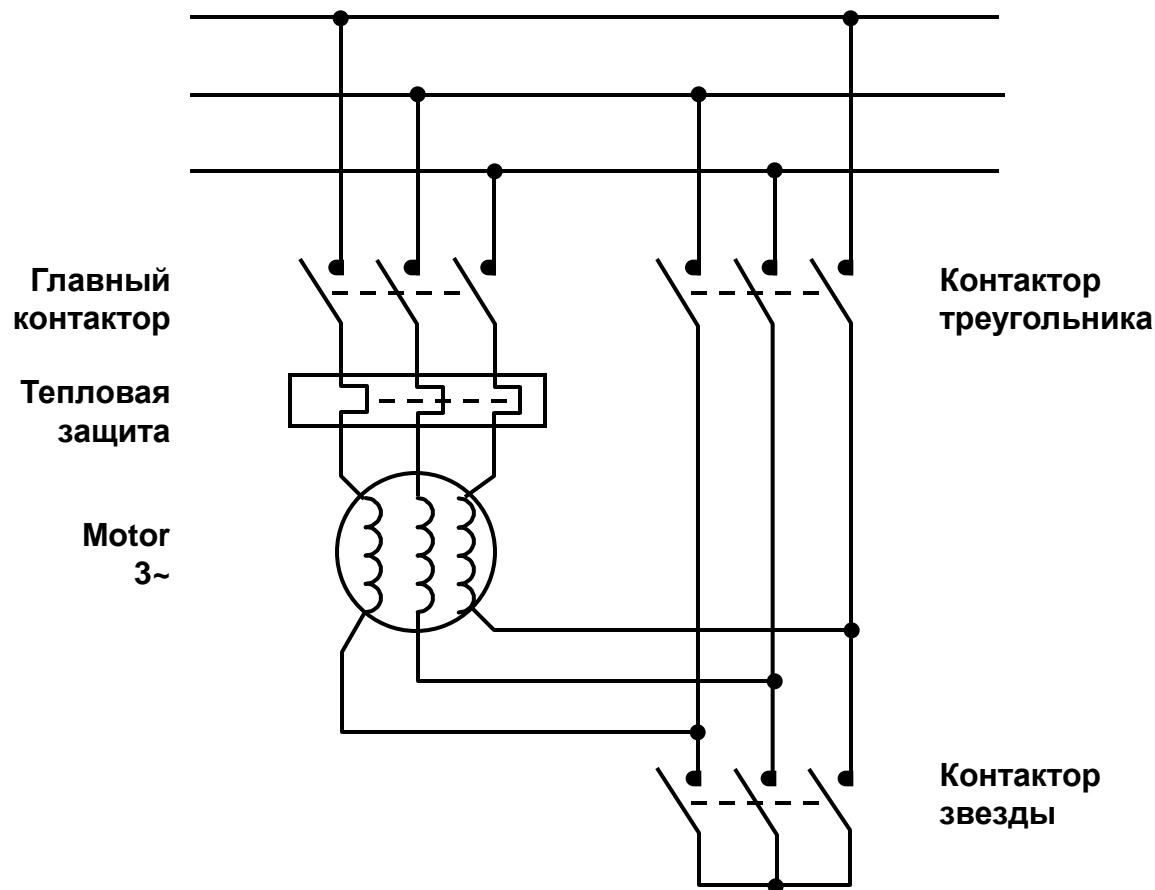
Первичные резисторы

Выбранные для 3,5 x FLC
пускового тока



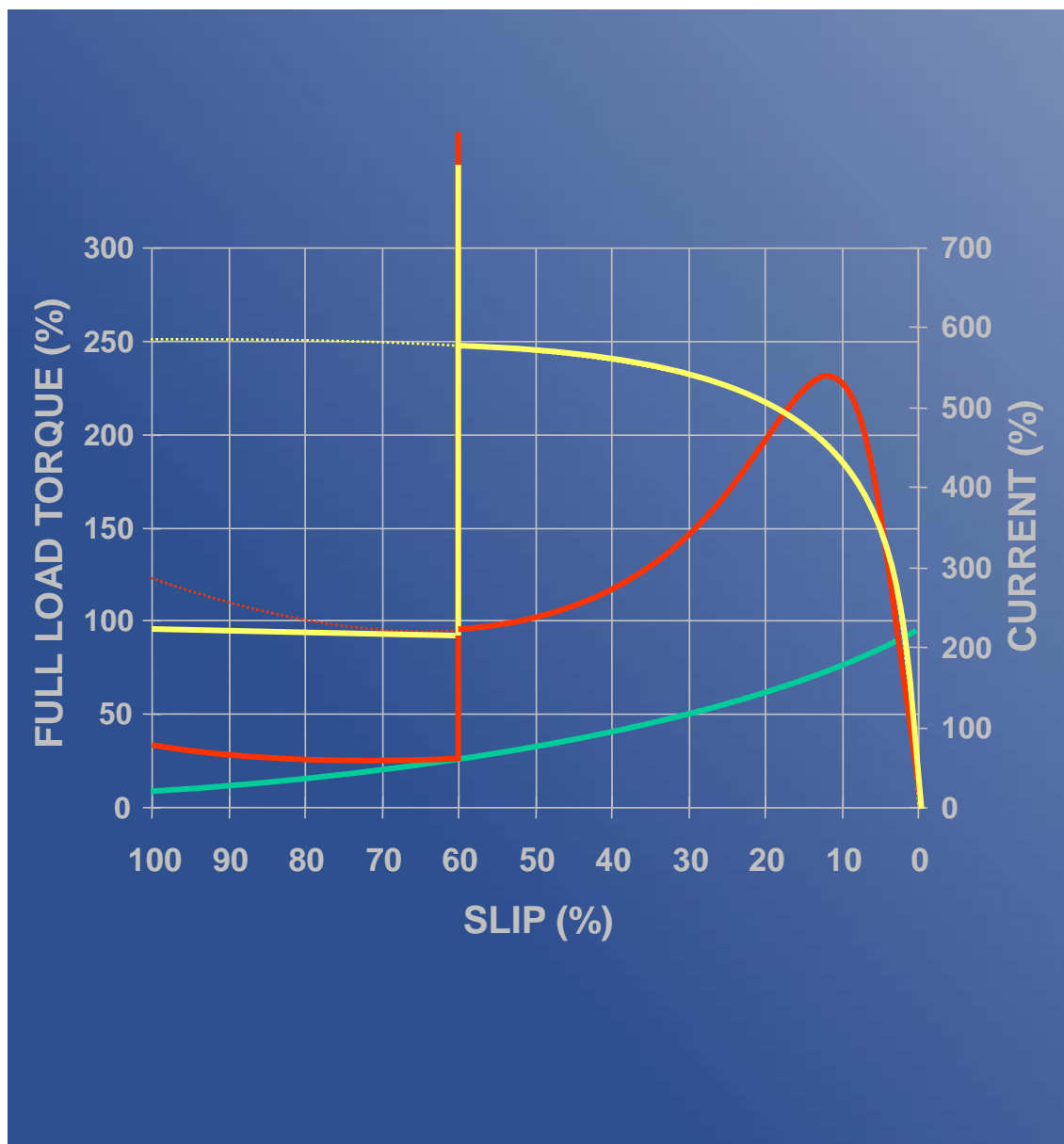
Пусковое напряжение определяется используемыми резисторами. Если сопротивление слишком высоко, то будет недостаточный момент для разгона двигателя на полную скорость.

Время пуска на пониженном напряжении контролируется предустановленным таймером. Если время слишком мало, мотор может не набрать полную скорость перед шунтированием резисторов.



Звезда - треугольник

Двигатель сначала включается по схеме Звезда, а затем по истечении заданного времени он отключается от сети и переключается по схеме Треугольник. Ток и момент в Звезде составляют одну треть от тока и момента при полном напряжении, когда двигатель включен в Треугольник.



Звезда-Треугольник

Недостаточный момент для ускорения нагрузки при включении в Звезду.

Ограничения:

- Не возможна подстройка
- Полное отключение от сети в момент переключения со звезды в треугольник может вызвать повреждения во время переходных процессов тока и момента.

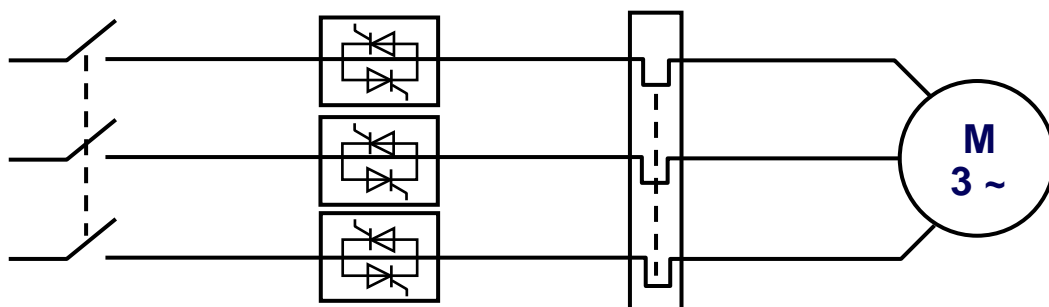
Происходит когда стартер переходит через стадию разомкнутой цепи при переключениях. Стадия [1], подключение к пониженному напряжению; [2] отключение от пониженного напряжения (разорванная цепь); [3] подключение к полному напряжению.

Разорванная цепь во время пуска, вызывающая тяжёлые переходные процессы момента и тока, может быть более вредной для сети и механического оборудования, чем при прямом пуске.

Когда мотор при вращении отключается от сети, он работает как генератор. Выходное напряжение может иметь ту же амплитуду, что и в сети. В момент замыкания на контактах двигателя может быть значительное напряжение.

Напряжение, генерируемое двигателем в момент переключения может быть равным сетевому, но точно в противофазе. Это приводит к подключению с удвоенным напряжением, в результате ток будет в два раза больше, чем ток заторможенного ротора, а скачок момента будет в четыре раза превосходить момент заторможенного ротора.

Open Transition Switching



Контактор

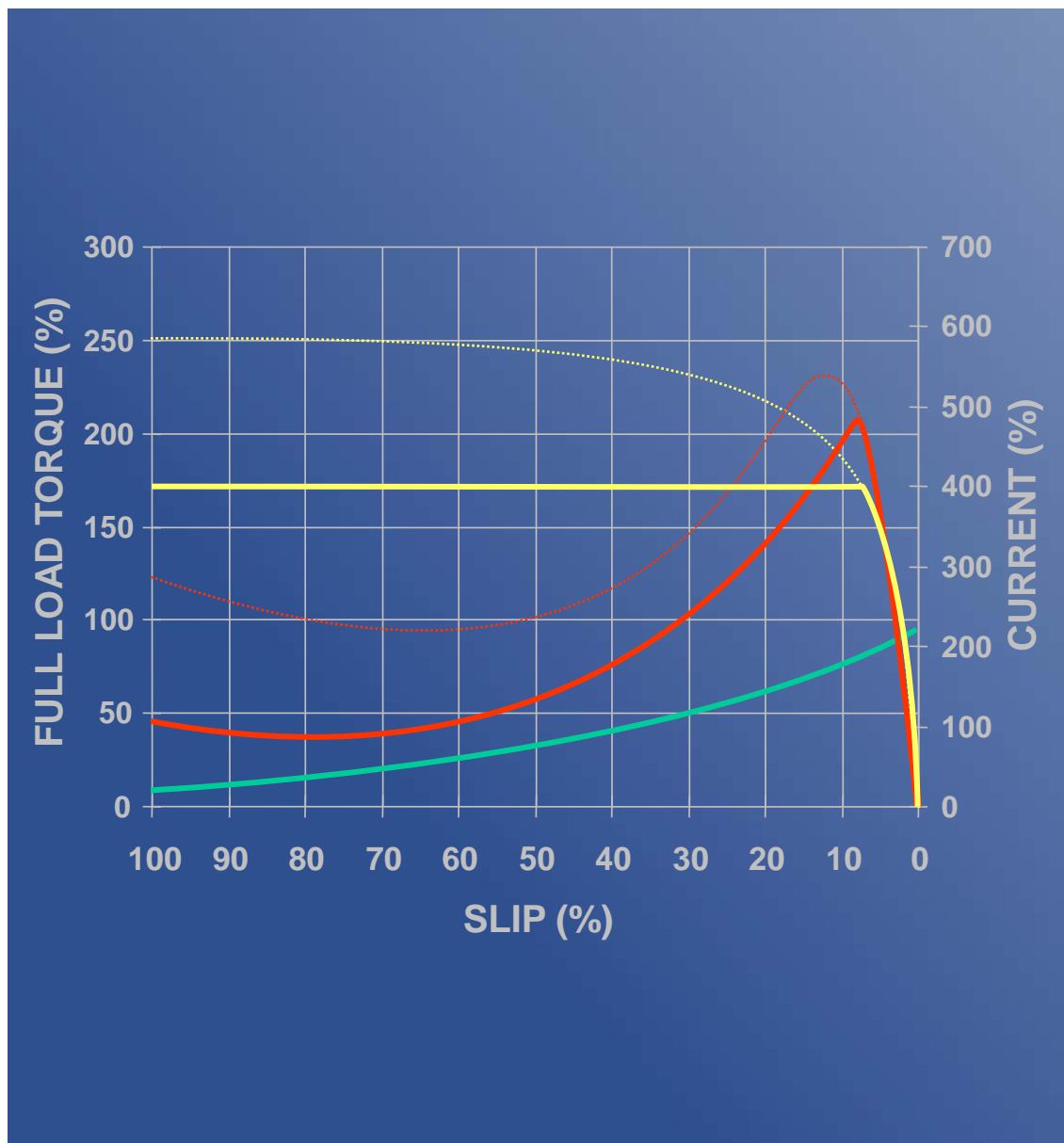
А.С. ключи

Тепловая
защита

Мотор

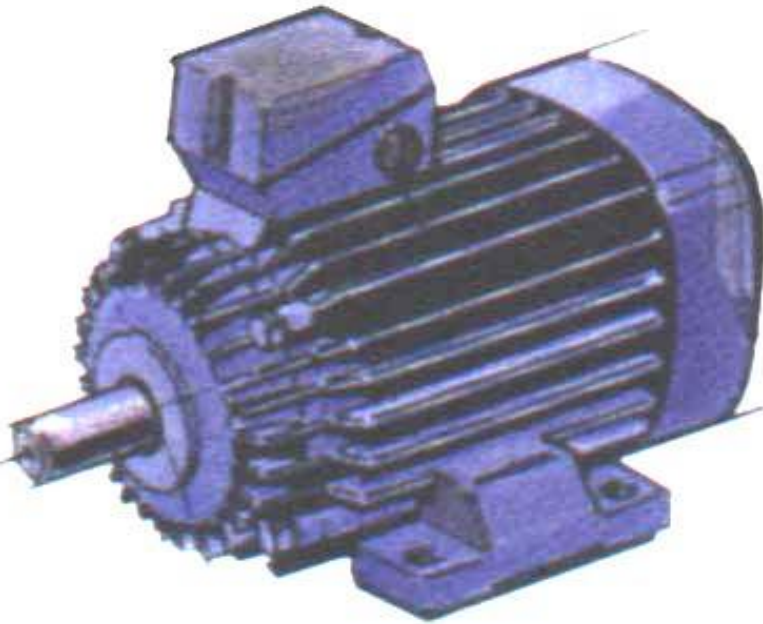
Soft Starter

Софт-стартер контролирует напряжение, прикладываемое к двигателю с помощью твёрдотельных ключей (SCRs), включенных последовательно с питающей сетью и мотором.



Soft Starter

- Минимально возможный пусковой ток
- Нет скачков тока
- Нет скачков напряжени
- Хорошие пусковые моментные характеристики

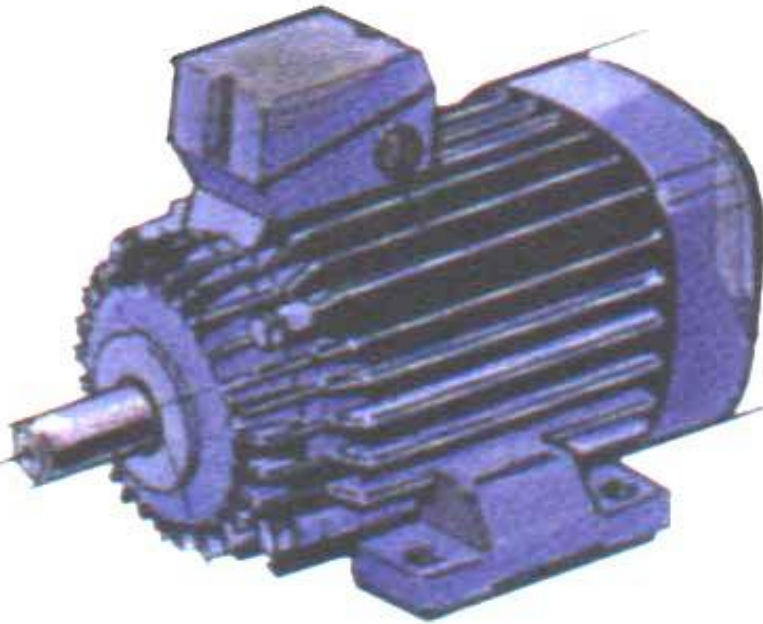


Резюме

Характеристиками двигателя определяются те границы, которые могут быть достигнуты с помощью софт-стартера.

Уделяй особое внимание характеристикам двигателя, когда:

- важно минимизировать пусковой ток
- важно максимизировать пусковой момент
- имеешь дело с большими моторами (свыше 200кВт)



Резюме

Софт-стартеры технически являются лучшей системой снижения пускового напряжения.

Пуск Звезда-Треугольник – дешевле и более широко распространённая система снижения пускового напряжения. Однако её характеристики могут нанести ущерб.