

## Способы пуска в ход асинхронных двигателей

Схемы пуска двигателей в ход должны предусматривать создание большого пускового момента при небольшом пусковом токе и, следовательно, при небольшом падении напряжения при пуске. При этом может требоваться плавный пуск, повышенный пусковой момент и т. д.

На практике применяются следующие способы пуска:

- непосредственное присоединение к сети - прямой пуск;**
- понижение напряжения при пуске;**
- включение сопротивления в цепь ротора в двигателях с фазовым ротором.**

### Прямой пуск

Прямой пуск применяется для двигателей с короткозамкнутым ротором. Для этого они проектируются так, чтобы пусковые токи, протекающие в обмотке статора, не создавали больших механических усилий в обмотках и не приводили к их перегреву. Но при прямом пуске двигателей большой мощности в сети могут возникнуть недопустимые, более 15%, падения напряжения, что приводит к неустойчивой работе пусковой аппаратуры (дребезжание), подгоранию контактов и практически к невозможности пуска. Такие явления могут быть в маломощной сети или при большом удалении от подстанции пускаемого двигателя.

### Прямой пуск двигателя от маломощной сети

В маломощной сети условия пуска двигателя ухудшаются для самого двигателя, ухудшается работа уже включенных двигателей и ламп накаливания, поэтому должны быть ограничения по мощности двигателя в зависимости от вида нагрузки сети и количества пусков двигателя.

Существуют следующие ограничения мощности двигателя.

#### **Трансформатор, питающий чисто силовую сеть:**

20% мощности трансформатора при частых пусках;

30% мощности трансформатора при редких пусках.

#### **Трансформатор имеет смешанную нагрузку:**

4% мощности трансформатора при частых пусках;

8% мощности трансформатора при редких пусках.

#### **Электростанция малой мощности - 12% мощности электростанции.**

В маломощных сетях следует ограничивать число пусков сравнительно мощных двигателей, при затруднении их пуска по возможности отключать другие двигатели.

### Пуск при пониженном напряжении

Этот способ пуска применяется для двигателей средней и большой мощности при ограниченной мощности сети. Рассмотрим некоторые способы понижения напряжения при пуске.

Переключение обмотки статора двигателя с пусковой схемы звезда на рабочую схему треугольник

Для лучшего понимания способа пуска разберем схемы соединения обмоток двигателей и влияние этих схем на величину фазного напряжения двигателя при заданном линейном напряжении.

Обмотки двигателей могут соединяться звездой или треугольником. Тип соединения определяет соотношение между напряжением на зажимах двигателя и напряжением на фазах его обмотки, т. е. номинальным напряжением двигателя. Напряжение на зажимах двигателя измеряется между его жазимами и называется линейным, и на фазе обмотки - между ее началом и концом и называется фазным. Как известно, при соединении треугольником напряжения линейное и фазное равны, а при соединении звездой линейное напряжение больше фазного в  $3^{0.5}$  раз.

Двигатель может иметь в коробке зажимов три или шесть концов. При наличии шести концов возможно соединение двигателя звездой или треугольником в зависимости от напряжения сети, к которой будет присоединяться двигатель, и его номинального напряжения.

Если номинальное напряжение двигателя 220 В, то при линейном напряжении сети 380 В его нужно соединять звездой, а при линейном напряжении сети 220 В - треугольником. При номинальном напряжении

двигателя 380 В и линейном напряжении сети 380 В двигатель нужно соединять треугольником, а при линейном напряжении сети 660 В - звездой.

Как соединять выводные концы двигателя при различных схемах соединения его обмоток, видно из схем соединения обмоток, показанных на рис. 2.17, б, в, где указаны стандартные обозначения концов и начал фазных обмоток двигателя.

Если в коробке зажимов двигателя имеется три вывода обмоток с зажимами, то он имеет определенную схему соединения обмоток в зависимости от напряжения, на которое он рассчитан.

Схема пуска двигателя включением на пусковую схему звезда и с переключением на рабочую схему треугольник показана на рис. 2.18.

**Рис. 2.18. Схема пуска трехфазного асинхронного электродвигателя включением на пусковую схему "звезда" и с переключением на рабочую схему "треугольник":**

SB1- кнопка КМЕ4201 (красная); SB2- кнопка КМЕ4201 (черная); KM2.1, KM2.2- пускатель ПМА-3100У4, 220 В; KT1 - промежуточное реле РПЛ2204, 220 В, пневмоприставка ПВЛ1104; M2 - электродвигатель А02-72-2,30 кВт, 2910 об/мин; QF2 -выключатель автоматический АЕ2046, 63 А; SF2 -выключатель автоматический А63, 4 А; QS1 -выключатель пакетный ПВ--100.

Перед пуском двигателя включаются выключатели QS1, QF2 и SF2. При нажатии на кнопку SB2 включается пускатель KM2.1, соединяющий концы фазных обмоток двигателя в звезду. Одновременно включается реле времени KT1, замыкая контакт KT1.3, шунтирующий контакты кнопки SB2. С выдержкой времени, необходимой для разгона двигателя, отключается контакт KT1.1 реле времени, отключая пускатель KM2.1, и включается контакт KT1.2, включающий пускатель KM2.2, переключающий концы фазных обмоток двигателя на треугольник, и двигатель продолжает работать.

Так как при пуске двигателя при подключении по схеме звезда фазное напряжение обмотки уменьшается в  $3^{0.5}$  раз по сравнению со схемой треугольник, то фазные токи также уменьшаются в  $3^{0.5}$  раз, которые равны линейным токам при этой схеме. Но при схеме треугольник, являющейся рабочей в данном случае, фазные токи меньше линейных в  $3^{0.5}$  раз, а при пусковой схеме звезда получается еще уменьшение фазных токов в  $3^{0.5}$  раз, и в результате линейные токи, равные фазным при пусковой схеме звезда, уменьшаются в 3 раза.

После разгона двигателя обмотка его статора переключается на нормальную схему треугольник, поэтому схема пуска двигателя кратко называется схемой пуска переключением со звезды на треугольник.

**Рис. 2.19. Схема пуска трехфазного асинхронного электродвигателя с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН).**

**Пуск электродвигателя с помощью тиристорного регулятора напряжения**

Схема включения двигателя с помощью тиристорного регулятора напряжения представлена на рис. 2.19. В регуляторе напряжения в каждый фазный провод включаются встречно-параллельно два тиристора, один из которых работает условно в положительный полупериод напряжения сети, а другой в отрицательный. Регулирование напряжения на выходе регулятора осуществляется изменением времени включения каждого тиристора относительно момента, когда ток должен переходить с одного из трех тиристоров на другой (базовая точка), путем подачи на тиристор управляющего импульса, что дает возможность изменять время протекания тока через тиристор в течение полупериода напряжения сети и напряжение на его выходе, подаваемое на нагрузку, в данном случае на двигатель. Это напряжение не является синусоидальным, и его можно представить как среднее напряжение, которое можно менять, изменяя продолжительность работы тиристора в течение полупериода. Время включения тиристора относительно базовой точки выражается в градусах и называется углом регулирования [7]. Изменяя угол регулирования тиристоров, можно получить необходимое напряжение для плавного пуска двигателя.

**Пуск электродвигателя с фазовым ротором**

Схема включения двигателя с фазовым ротором и получаемые при пуске механические характеристики показаны на рис. 2.20. Двигатель имеет контактные кольца, которые позволяют включать в цепь ротора при пуске добавочные сопротивления  $R1$  и  $R2$ . В начале пуска включены обе ступени сопротивлений, при этом получается наибольший пусковой момент  $M_{п1}$ , разгон происходит по механической характеристике 1, частота вращения увеличивается, но не достигает номинальной и в точке  $b$  происходит отключение первой ступени сопротивлений  $R1$  контроллером при замыкании контактов  $K1.1$  и  $K1.2$ . При постоянной частоте вращения происходит увеличение пускового момента до  $M_{п1}$  и снова разгон по характеристике 2 с более высокой частотой вращения. В точке  $z$  отключается вторая ступень  $R2$  сопротивлений контактами  $K2.1$  и  $K2.2$  и происходит переход на естественную механическую характеристику 3. Далее работа двигателя происходит при номинальной частоте вращения  $n_n$  и при номинальном моменте  $M_n$ .

**Рис. 2.20. Включение асинхронного электродвигателя с фазовым ротором:** а) схема включения; б) механические характеристики при пуске;  $R1, R2$  - ступени сопротивлений,  $K1.1, K1.2, K2.1, K2.2$  - контакты переключателя.

При пуске двигателя происходит не только уменьшение пусковых токов, но и увеличение пускового момента, что важно для двигателей, которые включаются под нагрузкой (различные транспортные приспособления и машины).

### Работа трехфазного двигателя в однофазной сети

На практике может потребоваться применение трехфазного двигателя в однофазной сети, например, при выходе из строя двигателя стиральной машины или другой бытовой машины, когда замены нет, а есть трехфазный двигатель.

Одна из схем такого применения показана на рис. 2.21, где к двум вершинам треугольника подводится напряжение сети, равное 220 В, а к третьей - пусковая емкость  $C_p$  через контакт выключателя, замыкающийся на время пуска двигателя для создания пускового момента, и рабочая емкость  $C_r$ , включаемая на все время работы двигателя. Соединение обмоток двигателя треугольником предпочтительнее, так как при этом к фазной обмотке двигателя подводится напряжение, равное напряжению сети, большее, чем при соединении звездой, и получается большой крутящий момент.

**Рис. 2.21. Применение трехфазного двигателя в однофазной сети:** Q - выключатель неавтоматический, имеющий средний контакт с самовозвратом,  $C_p, C_r$  - емкости пусковая и рабочая.

При напряжении сети 220 В и частоте сети 50 Гц рабочая емкость, мкф,

$C_r = 66P_n$ , где  $P_n$  - номинальная мощность двигателя, кВт.

Пусковая емкость, мкф  $C_p = 2C_r = 132P_n$ .

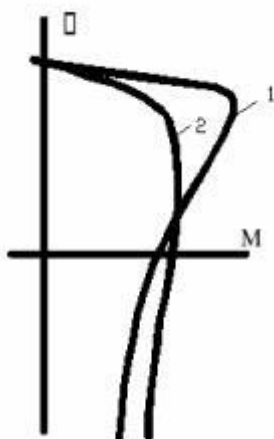
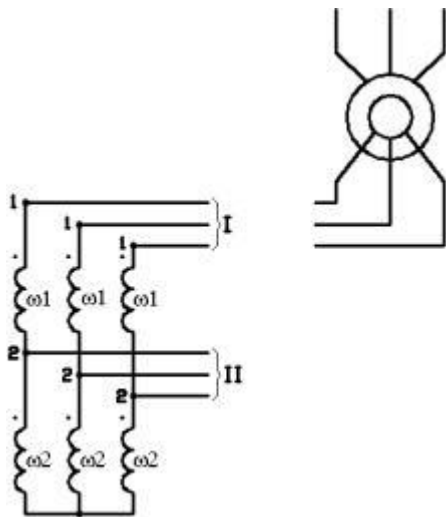
Если двигатель запускается без пусковой емкости, то ее можно не применять.

**Индукторное пусковое устройство (ИПУ)** обеспечивает бесступенчатый плавный разгон двигателя до номинальной скорости с сохранением пускового момента, представляет собой активно-индуктивное сопротивление, значение которого за время пуска автоматически плавно уменьшается до омического сопротивления меди обмоток. Данный разгон и торможение осуществляются за счет автоматически изменяющихся электрических параметров индуктора в функции частоты тока ротора. Пуск и торможение электродвигателя происходит плавно, но интенсивно, без ударов в механической части привода с ограничением пусковых токов.

Устанавливается взамен электромагнитных контакторов ускорения и пуско-тормозных резисторов роторных цепей асинхронных двигателей с фазным ротором электроприводов моста, тележки и подъема крана (рис.1).

**Рис.1.** Принципиальная электрическая схема включения ИПУ вместо пускорегулирующих резисторов.

На **Рис.2** представлены механические характеристики асинхронного электропривода с ИПУ.



На рис.2 представлены механические характеристики асинхронного электропривода с ИПУ.

Характеристика 1 - естественная характеристика электродвигателя.

Характеристика 2 - при включении ИПУ в роторную сеть. Она напоминает вид "экскаваторной" характеристики.

Рис.2 Механическая характеристика АД.

**Преимущества:**

- отсутствие релейно-контактной аппаратуры (контакторов) и пуско-тормозных резисторов в схеме ИПУ;
- снятие пиков тока и момента в роторных и статорных цепях электродвигателя увеличивает надежность работы и срок службы всего электропривода (коммутационной аппаратуры и др.) в 4-6 раз, а также составных элементов распределительных устройств сети электроснабжения;

- повышается надежность механической части крана (снижаются ударные нагрузки в механических передачах), что позволяет повысить сроки эксплуатации механического оборудования (редуктора, соединительной муфты и др.) в 2-4 раза;
  - снижается расход электроэнергии на 5-8%;
  - уменьшается расход времени на замену пускорегулирующей аппаратуры при ремонтных работах и ремонт контактов коммутационной аппаратуры;
  - увеличивается межремонтный цикл механизмов грузоподъемных машин;
  - снижается время на ремонт и обслуживание электропривода, особенно в тяжелых условиях работы механизмов и агрессивной окружающей среды (загазованность, запыленность, высокая температура воздуха);
- при реконструкции старых кранов затраты на электрооборудование и кабельную продукцию сокращаются на 50%.

Управление механизмов электроприводов моста, тележки и подъема крана прямоточным контроллером допускает полный произвол машиниста крана, который имеет возможность включать и тормозить привод с любого положения контроллера. Применение ИПУ лишает машиниста этой возможности работать на максимально-предельных контррежимах.

Для механизма подъема крана использование ИПУ позволяет сформировать требуемые механические характеристики за исключением посадочной скорости механизма, режима выбора слабины канатов при низких посадочных скоростях. Последние могут быть реализованы толчковым режимом работы или применением комбинирования схемы управления ИПУ+блок резисторов, при этом электромагнитные контакторы также исключаются из схемы роторных цепей.

При низких посадочных скоростях электродвигатель работает в тормозном режиме, т.е. он включается на подъём, но под действием груза вращается на спуск.

Применение индукторных устройств позволяет осуществлять режимы работы двигателя с противовключением, при этом нагрузка на двигатель не превосходит 120% от номинальной.

Разработанные ИПУ применяются в схемах электроприводов с мощностью электродвигателей от 2,2 до 125 кВт и обеспечивают плавное регулирование скорости электродвигателя в диапазоне 10% от синхронной скорости до номинальной скорости при любых моментах.

В зависимости от мощности габариты ИПУ лежат в интервале от 580х650х320 мм до 1100х(3х650)х400 мм, масса – от 33 до 200 кг.