

А.Е.ЗОРОХОВИЧ, С.С.КРЫЛОВ

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРО- ТЕХНИКИ ДЛЯ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Утверждено
Главным управлением
учебными заведениями МПС
в качестве учебника
для технических школ



МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1987

§ 80. Пуск в ход асинхронных двигателей

При пуске двигателя в ход должны по возможности удовлетворяться следующие основные требования: процесс пуска должен быть простым и осуществляться без сложных пусковых устройств, пусковой момент должен быть достаточно большим, а пусковые токи — по возможности малыми. Иногда к этим требованиям добавляются и другие, обусловленные особенностями конкретных приводов, в которых используются двигатели: необходимость плавного пуска, наибольшего пускового момента и пр. Практически используются следующие способы пуска: непосредственное подключение обмотки статора к сети (прямой пуск); понижение напряжения, подводимого к обмотке статора при пуске; подключение к обмотке ротора пускового реостата.

Прямой пуск применяется для пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Двигатели этого типа малой и средней мощности обычно проектируют так, чтобы при непосредственном подключении обмотки статора к сети возникающие пусковые токи не создавали чрезмерных электродинамических усилий и превышений температуры, опасных с точки зрения механической и термической прочности основных элементов машины. Однако при прямом пуске двигателей большой мощности, особенно при подключении их к недостаточно мощным электрическим сетям, могут возникать чрезмерно большие падения напряжения (свыше 10—15 %). В этом случае прямой пуск для двигателей с короткозамкнутым ротором не применяют и пускают их при пониженном напряжении.

Прямой пуск асинхронного двигателя широко применяют в технике. Недостатками его являются большой пусковой ток и сравнительно небольшой пусковой момент.

Пуск при пониженном напряжении применяется для пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором большой мощности, а также для двигателей средней мощности при недостаточно мощных электрических сетях. Понижение напряжения осуществляется следующими способами:

переключением обмотки статора при пуске с рабочей схемы «треугольник» на пусковую схему «звезда». В этом случае фазное напряжение, подаваемое на обмотку статора, уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, что обуславливает уменьшение фазных токов в $\sqrt{3}$ раз и линейных токов в 3 раза. По окончании процесса пуска и разгона двигателя до номинальной частоты вращения обмотку статора переключают обратно на схему «треугольник»;

включением в цепь обмотки статора на период пуска добавочных резисторов или реакторов. При этом на указанных аппаратах создаются некоторые падения напряжения ΔU , пропорциональные пусковому току, вследствие чего к обмотке статора будет приложено пониженное напряжение $U_1 - \Delta U$. По мере увеличения частоты вращения ротора двигателя уменьшается э. д. с., индуцированная в обмотке ротора, а следовательно, и пусковой ток. В результате этого уменьшается падение напряжения ΔU и автоматически возрастает приложенное к двигателю напряжение;

подключением двигателя к сети через понижающий автотрансформатор. Последний может иметь несколько ступеней, которые в процессе пуска двигателя переключаются соответствующей аппаратурой.

Недостатком всех указанных способов является значительное уменьшение пускового и наибольшего моментов двигателя, которые пропорциональны квадрату приложенного напряжения. Поэтому они могут применяться только при пуске двигателя без нагрузки.

Пуск с помощью пускового реостата применяется для двигателей 1 с фазным ротором (рис. 265, а). Пусковой реостат 2 обычно имеет четыре — шесть ступеней, что позволяет в процессе пуска постепенно уменьшать пусковое сопротивление R_n , поддерживая высокое значение пускового момента на все время разгона двигателя. При пуске предварительно устанавливают пусковой реостат в положение, при котором он имеет максимальное

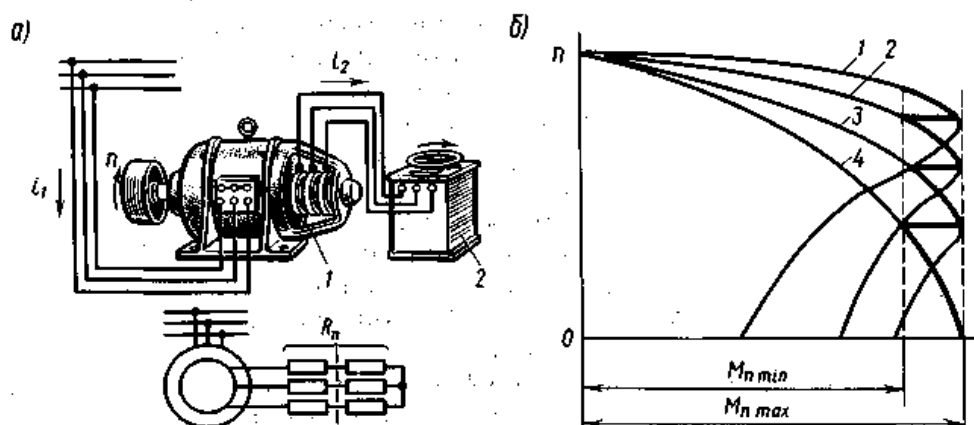


Рис. 265. Схема включения асинхронного двигателя с пусковым реостатом (а) и механические характеристики двигателя при пуске (б)

сопротивление $R_{п4} = R_{пmax}$, после чего подключают обмотку статора к сети трехфазного тока. При этом двигатель пускается по характеристике 4 (рис. 265, б) и развивает в начале пуска вращающий момент $M_{пmax}$.

По мере увеличения частоты вращения ротора вращающий момент двигателя, как видно из его механической характеристики, уменьшается и может стать меньше некоторого момента $M_{пmin}$. Поэтому при уменьшении вращающего момента до $M_{пmin}$ часть сопротивления пускового реостата выводят. При этом вращающий момент двигателя возрастает до $M_{пmax}$, а затем с увеличением частоты вращения будет изменяться по характеристике 3, полученной при сопротивлении пускового реостата $R_{п3} < R_{п4}$. При дальнейшем уменьшении вращающего момента до $M_{пmin}$ часть сопротивления реостата снова выключается, и двигатель переходит на работу по характеристике 2, соответствующей сопротивлению $R_{п2} < R_{п3}$.

Таким образом, в процессе пуска двигателя сопротивление пускового реостата постепенно (ступенями) уменьшают и вращающий момент двигателя изменяется в пределах от $M_{пmax}$ до $M_{пmin}$ по ломаной кривой, показанной на рис. 265, б жирной линией. В конце пуска пусковой реостат полностью выводят, обмотка ротора двигателя замыкается накоротко и двигатель переходит на работу по естественной характеристике 1. Отдельные ступени пускового реостата в процессе разгона двигателя могут выключаться вручную или автоматически. Таким образом, путем включения реостата в цепь обмотки ротора можно осуществить пуск двигателя при $M_{п} \approx M_{пmax}$ и резко уменьшить пусковой ток.

Недостатком этого способа является относительная сложность пуска, возникновение потерь энергии в пусковом реостате и необходимость применения более сложных и дорогих двигателей с фазным ротором. Кроме того, эти двигатели имеют несколько худшие рабочие характеристики, чем двигатели с короткозамкнутым ротором такой же мощности (кривые η и $\cos \phi_1$ идут у них ниже). В связи с этим двигатели с фазным ротором применяют только при тяжелых условиях пуска (когда необходимо развивать максимально возможный пусковой момент), при малой мощности электрической сети или при необходимости плавного регулирования частоты вращения.

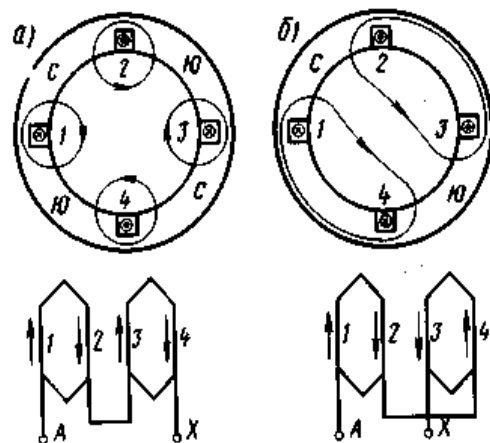
§ 81. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей

Частота вращения асинхронного двигателя

$$n = n_1 (1 - s) = \frac{60f_1}{p} (1 - s). \quad (85)$$

Из этого выражения видно, что ее можно регулировать, изменяя частоту f_1 питающего напряжения, число пар полюсов p и

Рис. 266. Схема переключения катушек обмотки статора (одной фазы) для изменения числа полюсов:
 а — при четырех полюсах; б — при двух полюсах



скольжение s . Последнее при заданных значениях момента на валу $M_{\text{вн}}$ и частоты f_1 можно изменять путем включения в цепь обмотки ротора реостата.

Регулирование путем изменения частоты питающего напряжения. Этот способ требует наличия преобразователя частоты, к которому должен быть подключен асинхронный двигатель. На основе управляемых полупроводниковых вентилей (тириستоров) созданы статические преобразователи частоты и построен ряд опытных электровозов и тепловозов с асинхронными двигателями, частота вращения которых регулируется путем изменения частоты питающего напряжения. Такой способ регулирования частоты вращения ротора асинхронного двигателя является весьма перспективным.

Регулирование путем изменения числа пар полюсов. Этот способ позволяет получить ступенчатое изменение частоты вращения. Для этой цели отдельные катушки 1, 2 и 3, 4, составляющие одну фазу (рис. 266), переключаются так, чтобы изменялось соответствующим образом направление тока в них (например, с последовательного согласного соединения на встречное). При согласном включении катушек (рис. 266, а) число полюсов равно четырем, при встречном включении (рис. 266, б) — двум. Катушки двух других фаз, сдвинутые в пространстве на 120° , соединяются таким же образом. Такое же уменьшение числа полюсов можно осуществить при переключении катушек с последовательного на параллельное соединение. При изменении числа полюсов изменяется частота вращения n_1 магнитного поля двигателя, а следовательно, и частота вращения n его ротора. Если нужно иметь три или четыре частоты вращения n_1 , то на статоре располагают еще одну обмотку, при переключении которой можно получить еще две частоты. Существуют двигатели, которые обеспечивают изменение частоты вращения n_1 при постоянном наибольшем моменте или при приблизительно постоянной мощности (рис. 267).

В асинхронном двигателе число полюсов ротора должно быть равно числу полюсов статора. В короткозамкнутом роторе это условие выполняется автоматически и при переключении обмотки статора никаких изменений в обмотке ротора выполнять не требуется.

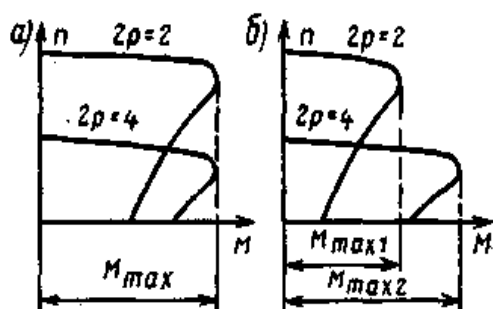


Рис. 267. Механические характеристики двухскоростных асинхронных двигателей с постоянным наибольшим моментом (а) и постоянной мощностью (б)

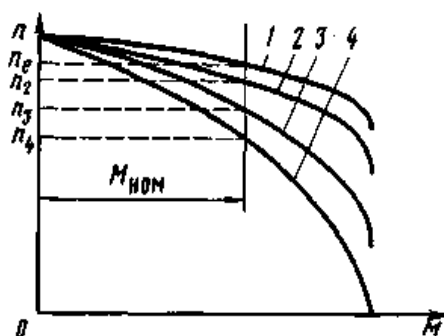


Рис. 268. Механические характеристики асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения путем включения реостата в цепь обмотки ротора

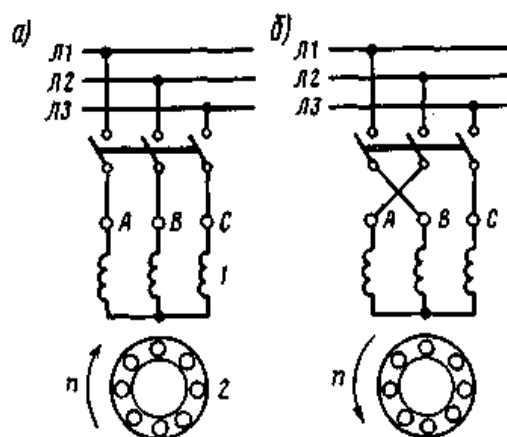


Рис. 269. Схемы подключения асинхронного двигателя к сети при изменении направления его вращения

В двигателе же с фазным ротором в этом случае надо было бы изменять число полюсов обмотки ротора, что сильно усложнило бы его конструкцию, поэтому такой способ регулирования частоты вращения используется только в двигателях с короткозамкнутым ротором. Такие двигатели имеют большие габаритные размеры и массу по сравнению с двигателями общего применения, а следовательно, и большую стоимость. Кроме того, регулирование осуществляется большими ступенями; при частоте $f_1 = 50$ Гц частота вращения поля n_1 при переключениях изменяется в отношении 3000:1500:1000:750.

Регулирование путем включения в цепь ротора реостата. При включении в цепь обмотки ротора реостата с различным сопротивлением (R_{p4} , R_{p3} , R_{p2} и т. д.) получаем ряд реостатных механических характеристик 4, 3 и 2 двигателя. При этом некоторому нагрузочному моменту $M_{ном}$ (рис. 268) будут соответствовать меньшие частоты вращения n_4 , n_3 , n_2 и т. д., чем частота n_e при работе двигателя на естественной характеристике 1 (при $R_p = 0$). Это способ регулирования может быть использован только для двигателей с фазным ротором. Он позволяет плавно изменять частоту вращения в широких пределах. Недостатками его являются большие потери энергии в регулировочном реостате, поэтому его используют только при кратковременных режимах работы двигателя (при пуске и пр.).

Изменение направления вращения. Для изменения направления вращения двигателя нужно изменить направление вращения магнитного поля, создаваемого

обмотками статора. Это достигается изменением порядка чередования тока в фазах обмотки статора. Например, если максимумы токов поступают в фазы обмотки статора *I* (рис. 269, *a*) в следующем порядке: фаза *A* — фаза *B* — фаза *C*, то ротор 2 двигателя будет вращаться по часовой стрелке. Если же подавать их в такой последовательности: фаза *B* — фаза *A* — фаза *C*, то ротор начнет вращаться против часовой стрелки. Для этой цели необходимо изменить схему соединения обмоток статора с сетью, переключив две любые фазы (провода). Например, зажим *A* обмотки статора, который ранее был соединен с линейным проводом *Л1*, нужно переключить на провод *Л2*, а зажим *B* этой обмотки, соединенный ранее с *Л2*, переключить на провод *Л1* (рис. 269, *б*). Такое переключение можно осуществить обычным переключателем.