

Тема 9.2. Характеристики, пуск и реверс асинхронных двигателей.

Однофазные асинхронные двигатели.

Вопросы темы.

1. Асинхронный двигатель с фазным ротором.
2. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
3. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей.
4. Однофазный асинхронный двигатель.

1. Асинхронный двигатель с фазным ротором

Недостатком асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является большой пусковой ток, который превышает номинальный ток в 5 - 7 раз.

Желая улучшить пусковые характеристики асинхронного двигателя, М. О. Доливо-Добровольский разработал двигатель с фазным ротором.

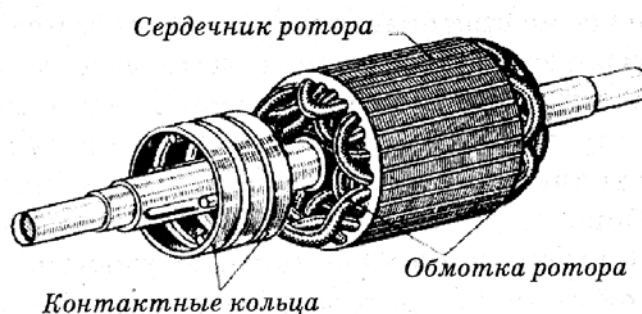


Рис. 7. Фазный ротор

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет обычный для асинхронных двигателей статор с трехфазной сетевой обмоткой, но на поверхности ротора также находится трехфазная обмотка. Три фазные обмотки ротора соединяются на самом роторе звездой, а свободные концы — с тремя изолированными друг от друга контактными кольцами, укрепленными на валу машины и изолированными от него (рис. 7). Поэтому асинхронный двигатель с фазным ротором называют также асинхронным двигателем с контактными кольцами.

Контактные кольца соприкасаются с щетками, установленными в неподвижных щеткодержателях. Через кольца и щетки обмотка ротора замыкается на пусковой трехфазный реостат, который изменяет активное сопротивление обмотки ротора в момент пуска. Обмотка статора такого двигателя включается непосредственно в трехфазную сеть (рис 8).

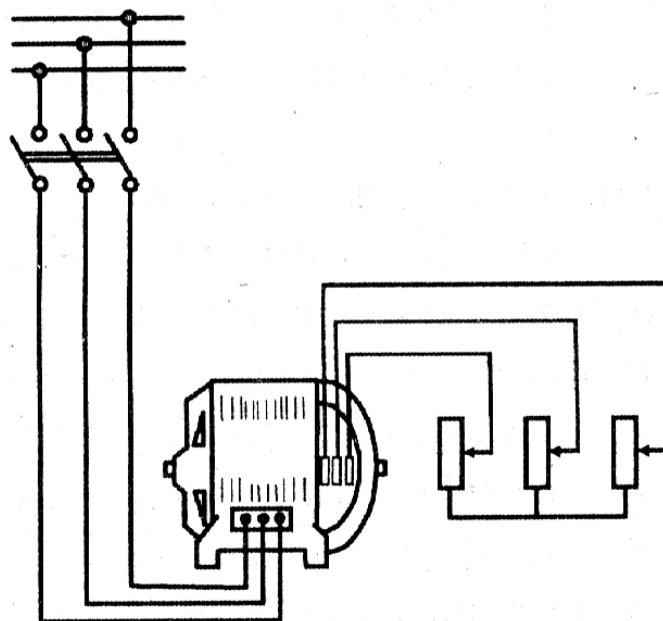


Рис. 8. Подключение асинхронного двигателя с фазным ротором

Эта система используется либо для пуска (для уменьшения пускового тока при одновременном сохранении вращающего момента), либо для регулирования скорости вращения ротора двигателя. После разгона ротора пусковой реостат выключается и обмотка закорачивается с помощью специального центробежного автоматического замыкателя. Для уменьшения потерь на трение в некоторых двигателях с фазным ротором имеются приспособления для отвода щеток от контактных колец после их замыкания.

Пусковой ток двигателя с фазным ротором превышает номинальный всего в 1,5-2 раза.

2. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Рабочими характеристиками называют зависимости мощности, потребляемой двигателем P_1 , потребляемого тока I , коэффициента мощности $\cos \varphi_1$, скорости вращения двигателя n_2 , КПД $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ и вращающего момента M от полезной мощности двигателя, отдаваемой на валу P_2 . Рабочие характеристики определяют основные эксплуатационные свойства асинхронного двигателя.

Рабочие характеристики асинхронного двигателя средней мощности показаны на рис. 9.

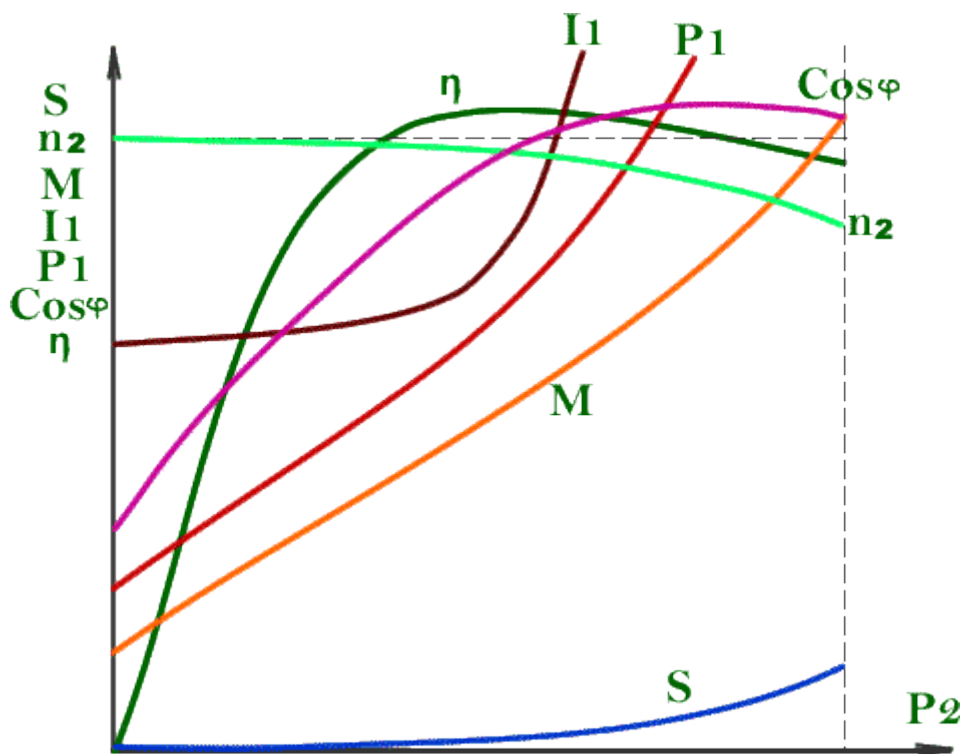


Рис. 9. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Их поведение объясняется следующим образом.

Ток I_1 , потребляемый двигателем из сети, неравномерно изменяется с увеличением нагрузки на валу двигателя. При холостом ходе $\cos \varphi_1$ мал и ток имеет большую реактивную составляющую. При малых нагрузках на валу двигателя активная составляющая статора меньше реактивной составляющей, поэтому активная составляющая тока незначительно влияет на ток I_1 , определяющийся в основном реактивной составляющей. При больших нагрузках активная составляющая тока статора становится больше реактивной и изменение нагрузки вызывает большое изменение тока I_1 .

Вращающий момент двигателя ($M = c \Phi I_2 \cos \varphi_2$) также почти пропорционален нагрузке, но при больших нагрузках линейность графика $M = f(P_2)$ несколько нарушается за счет уменьшения скорости вращения двигателя.

Рабочая характеристика $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ выражает зависимость между развиваемой двигателем мощностью и фазовым сдвигом между током и напряжением статора. Асинхронный двигатель, как и трансформатор, потребляет из сети ток I , значительно отстающий по фазе от приложенного напряжения. Например, в режиме холостого хода $\cos \varphi_1 < 0,2$. При увеличении нагрузки на валу двигателя растут активные составляющие токов ротора и статора, увеличивая $\cos \varphi_1$. Максимального значения $\cos \varphi_1$ достигает при $P_2 \approx P_{2\text{НОМ}}$. При дальнейшем увеличении P_2 величина $\cos \varphi_1$ будет несколько уменьшаться.

Поведение рабочей характеристики $\eta = f(P_2)$ объясняется следующим образом. Величина КПД определяется отношением полезной мощности P_2 к мощности P_1 , потребляемой из сети. Величина $\Delta P = P_2 - P_1$ называется мощностью потерь. Кроме потерь в стали статора и ротора на перемагничивание и вихревые

токи P_{CT} , которые вместе с механическими потерями P_{MEX} можно считать постоянными, в асинхронном двигателе существуют потери в меди P_M , т. е. в обмотках статора и ротора, которые пропорциональны квадрату протекающего тока и, следовательно, зависят от нагрузки. При холостом ходе, как и в трансформаторе, преобладают потери в стали, поскольку $I_2 \approx 0$, а I_1 равен току холостого хода I_0 , который невелик. При небольших нагрузках на валу потери в меди все же остаются небольшими, и поэтому КПД, определяемый формулой

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{CT} + P_M + P_{MEX}}, \quad (5)$$

с увеличением P_2 сначала резко возрастает. Когда постоянные потери $P_{CT} + P_{MEX}$ станут равны потерям, зависящим от нагрузки P_M , КПД достигает своего максимального значения. При дальнейшем увеличении нагрузки переменные потери мощности P_M значительно возрастают, в результате чего КПД заметно уменьшается.

Характер зависимости $P_1 = f(P_2)$ может быть объяснен из соотношения $P_1 = \frac{P_2}{\eta}$.

Если бы КПД был постоянен, то между P_1 и P_2 была бы линейная зависимость. Но поскольку КПД зависит от P_2 и эта зависимость вначале резко возрастает, а при дальнейшем увеличении нагрузки изменяется незначительно, то и кривая $P_1 = f(P_2)$ сначала растет медленно, а затем резко возрастает.

3. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей

Самым простым способом пуска асинхронных двигателей является прямое включение их в сеть. Однако при этом в момент пуска в цепи двигателя возникает большой пусковой ток, который значительно превышает номинальный. В маломощной сети этот ток может вызвать кратковременное понижение напряжения, что отражается на работе других потребителей энергии, включенных в эту сеть. Поэтому непосредственным включением в сеть запускают только двигатели малой мощности. При запуске двигателя большой мощности необходимо уменьшить пусковой ток. Для уменьшения пускового тока используют ряд способов. Рассмотрим некоторые из них.

Запуск двигателей с фазным ротором

Запуск двигателя с фазным ротором уже был кратко рассмотрен, а применяемая для этого схема включения изображена на рис. 8. Двигатели данного типа обладают очень хорошими пусковыми характеристиками. Для уменьшения пускового тока обмотка ротора замыкается на пусковой реостат. При включении реостата в цепь обмотки ротора ток в этой обмотке уменьшается, а следовательно, уменьшается и ток в обмотке статора, а также ток, потребляемый двигателем от сети. Кроме того, при включении активного сопротивления в цепь обмотки ротора увеличивается $\cos \varphi$, а следовательно, и вращающий момент, развиваемый двигателем при запуске. Таким образом, при включении активного сопротивления в цепь ротора уменьшается пусковой ток и увеличивается пусковой момент. После

достижения ротором нормальной скорости реостат полностью выводится, т. е. обмотка ротора замыкается накоротко.

Запуск двигателей с короткозамкнутым ротором

Для уменьшения пускового тока можно на время понизить напряжение на зажимах статора, включив для этого последовательно с его обмоткой трехфазное индуктивное сопротивление (рис. 10).

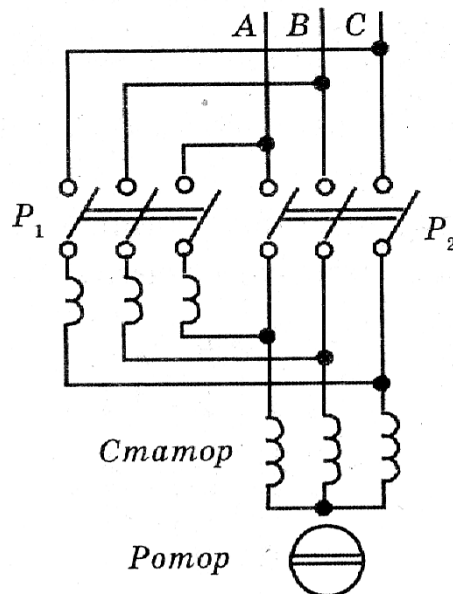


Рис. 10. Пуск асинхронного двигателя с помощью сопротивлений, последовательно включаемых с обмотками статора

При пуске замыкается рубильник P_1 и к обмоткам статора последовательно подключаются индуктивности, что значительно уменьшает пусковой ток.

Когда скорость двигателя приближается к номинальной, замыкается рубильник P_2 — он закорачивает катушки индуктивности, и статор включается на полное напряжение сети. Уменьшение пускового тока, вызванное понижением напряжения на статоре, вызывает уменьшение пускового момента пропорционально квадрату напряжения на статоре. Например, при таком пуске уменьшение пускового тока в 2 раза будет сопровождаться уменьшением пускового момента в 4 раза. Для понижения напряжения на статоре вместо индуктивных сопротивлений можно использовать активные сопротивления реостатов, но это менее выгодно, так как связано с дополнительными потерями энергии в реостатах.

Мощные двигатели часто запускают с помощью автотрансформатора (рис. 11).

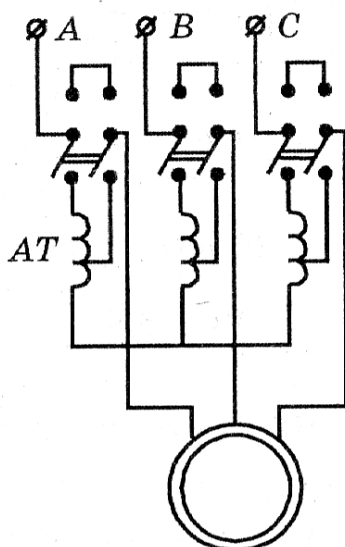


Рис. 11. Пуск асинхронного двигателя с помощью автотрансформатора

Благодаря автотрансформатору фазное напряжение двигателя U и пусковой ток I_n при пуске уменьшаются пропорционально коэффициенту трансформации k , но пусковой ток в сети меньше пускового тока двигателя в k раз, т. е. ток двигателя

$$I_n = \frac{U}{kz},$$

а ток в сети

$$I_n = \frac{I_n}{k} = \frac{U}{k^2 z},$$

где z — сопротивление фазы двигателя; U — фазное напряжение сети.

Следовательно, понижение напряжения автотрансформатором в k раз уменьшает пусковой ток в сети в k^2 раз. В то же время пусковой момент, пропорциональный квадрату напряжения, уменьшается в k^2 раз. Таким образом, благодаря применению автотрансформатора начальный вращающий момент уменьшается пропорционально линейному пусковому току, тогда как при поглощении части напряжения сопротивлением момент уменьшается пропорционально квадрату пускового тока.

Например, при понижении напряжения автотрансформатором в $\sqrt{2}$ раза пусковой ток сети понизится в 2 раза и в 2 раза понизится пусковой момент.

Понижение напряжения на статоре на время пуска можно осуществить также посредством временного переключения обмоток статора, нормально работающих при соединении треугольником, на соединение звездой. При пуске обмотки статора соединяются звездой, благодаря чему фазное напряжение уменьшается в $\sqrt{3}$ раз. Во столько же раз уменьшается и фазный пусковой ток:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}Z}.$$

где Z — полное сопротивление фазы двигателя; $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение сети.

Так как линейный ток звезды равен фазному, то

$$I_{\text{л.Зв}} = I_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}Z}.$$

Если бы обмотки были соединены треугольником, то линейный ток был бы равен:

$$I_{\text{л.Тр}} = \sqrt{3}I_{\phi} = \sqrt{3} \frac{U_{\text{л}}}{Z}.$$

Таким образом, переключение на звезду уменьшает пусковой линейный ток в 3 раза:

$$\frac{I_{\text{л.Тр}}}{I_{\text{л.Зв}}} = 3.$$

Практически такое переключение выполняется с помощью простого трехполюсного переключателя (рис. 12).

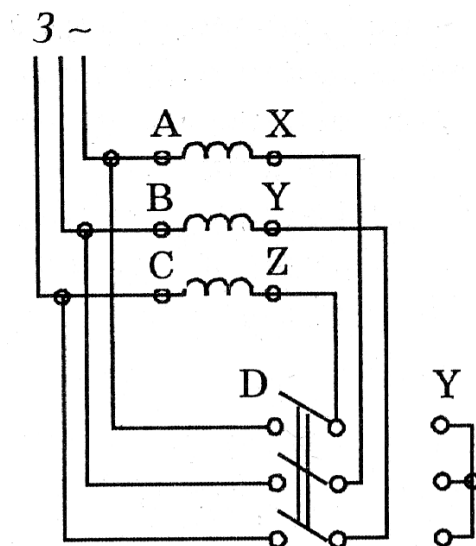


Рис. 12. Пуск асинхронного двигателя с помощью переключения обмоток

Этот способ запуска может быть применен для двигателя, обмотки статора которого при питании от сети данного напряжения должны быть соединены треугольником.

Общим недостатком способов запуска асинхронных двигателей понижением напряжения на статоре и переключением обмоток статора со звезды на треугольник является значительное снижение пускового момента, который пропорционален

квадрату фазного напряжения. Поэтому все эти способы запуска можно использовать только в тех случаях, когда двигатель запускается не под полной нагрузкой.

Реверсирование — изменение направления вращения ротора двигателя. Как известно, направление вращения ротора зависит от направления вращения магнитного поля статора, поэтому для изменения направления вращения ротора следует изменить последовательность фаз. На практике это осуществляется путем перемены мест любых двух фаз. Для этого часто используют трехполюсные переключатели (рис. 13):

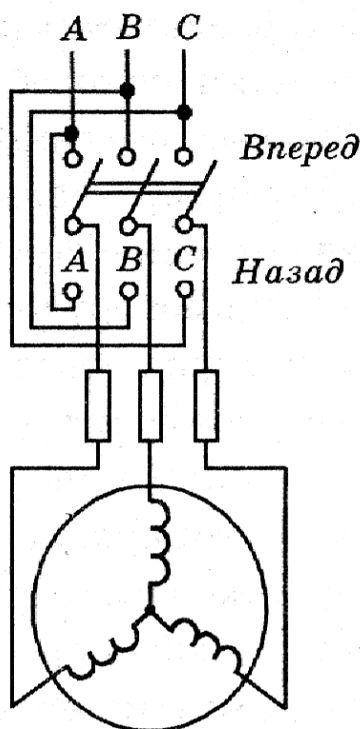


Рис. 13. Реверсирование асинхронного двигателя

4. Однофазный асинхронный двигатель

На статоре однофазного двигателя размещается одна обмотка, синусоидальный ток в которой создает пульсирующий магнитный поток.

На рис. 14 показано, что пульсирующий магнитный поток может быть разложен на два вращающихся в противоположные стороны потока Φ_1 и Φ_2 . Частоты вращения этих потоков равны угловой частоте тока, а амплитуды — половине амплитуды пульсирующего потока Φ .

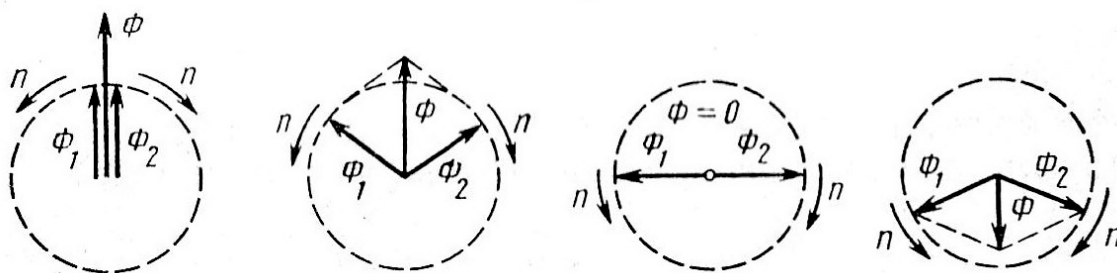


Рис. 14. Разложение пульсирующего магнитного потока на два

При неподвижном роторе возникают два равных по значению и противоположно направленных вращающих момента $M_{\text{пр}}$ и $M_{\text{обр}}$, вследствие чего результирующий момент остается равным нулю. Таким образом, собственный пусковой момент однофазного асинхронного двигателя равен нулю.

Раскрутим принудительно ротор до частоты вращения n_2 . Тогда скольжение ротора относительно прямого поля

$$s_{\text{пр}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

относительно обратного поля

$$s_{\text{обр}} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} = \frac{n_1 + (1 - s_{\text{пр}})n_1}{n_1} = 2 - s_{\text{пр}}.$$

Частота тока в роторе, создаваемого прямым полем, равна $s_{\text{пр}} f$, а частота тока, создаваемого обратным полем, $(2 - s_{\text{пр}}) f$. Так, если частота тока в сети $f = 50$ Гц, а скольжение $s_{\text{пр}} = 0,02$, то $f_{\text{пр}} = s_{\text{пр}} f = 50 \cdot 0,02 = 1$ Гц;
 $f_{\text{обр}} = (2 - s_{\text{пр}}) f = 1,98 \cdot 50 = 99$ Гц.

Индуктивное сопротивление обмотки ротора пропорционально частоте тока и для прямого тока на два порядка меньше, чем для обратного тока. Вследствие этого прямой ток и прямой вращающий момент $M_{\text{пр}}$ существенно больше обратного тока и обратного вращающего момента. Следовательно, раскрутив двигатель в любую сторону, можно нагрузить его и двигатель будет продолжать вращаться в ту же сторону. Вращающий момент раскрученного однофазного двигателя незначительно отличается от вращающего момента аналогичного трехфазного двигателя.

Для создания пускового момента на статоре однофазного двигателя размещают дополнительную пусковую обмотку, рассчитанную на кратковременную работу. Эту обмотку включают через конденсатор, вследствие чего ток в ней сдвинут по фазе относительно тока основной обмотки (рис. 15). Образующееся двухфазное вращающееся магнитное поле раскручивает ротор. По окончании пуска питание пусковой обмотки должно быть отключено.

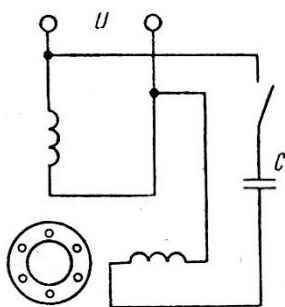


Рис. 15. Схема пуска однофазного асинхронного двигателя

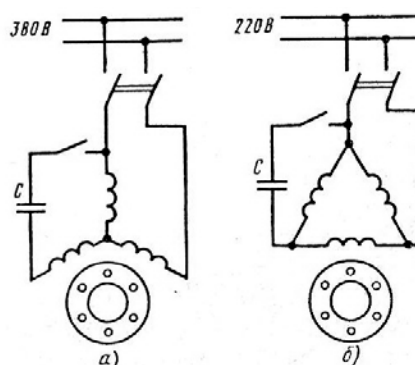


Рис. 16. Схемы включения трёхфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть при соединении обмоток: а – звездой; б - треугольником

Однофазные асинхронные двигатели получили наибольшее распространение в бытовых приборах. Их мощность обычно не превышает 500 Вт.

Иногда в качестве однофазного используют трёхфазный асинхронный двигатель, у которого в цепь одной из обмоток статора включен конденсатор (рис. 16).

При соединении обмоток звездой пусковую ёмкость подсчитывают по формуле

$$C = \frac{P \cdot 10^6}{314U^2},$$

где P - мощность двигателя, Вт; U - напряжение сети, В; C - ёмкость конденсатора, мкФ.

При соединении обмоток треугольником пусковая ёмкость в 3 раза больше, чем в предыдущем случае.

При работе в однофазном режиме трёхфазный двигатель без перегрева развивает 60 – 70% номинальной мощности.

Контрольные вопросы

1. Как производится реверсирование асинхронного двигателя?
2. Как устроен трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором?
3. Как производится пуск трехфазных асинхронных двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором?
4. Как устроен однофазный асинхронный двигатель?
5. Каков принцип работы однофазного асинхронного двигателя?
6. Опишите способы пуска однофазных асинхронных двигателей.
7. Нарисуйте схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть.