**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

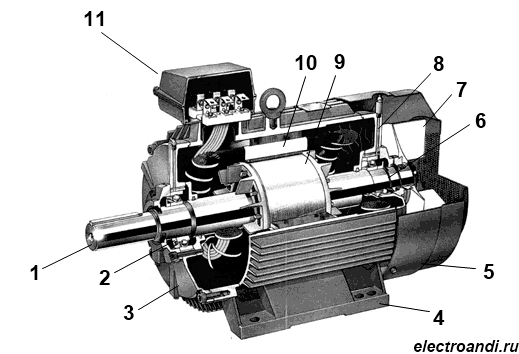
Лекция

**Принцип действия и режимы работы асинхронных машин**

**Асинхронный двигатель** *-* **это асинхронная машина, предназначенная для преобразования электрической энергии переменного тока в механическую энергию.**

Само слово **“асинхронный” означает не одновременный.**

При этом имеется ввиду, что **у асинхронных двигателей частота вращения магнитного поля статора всегда больше частоты вращения ротора**. Работают асинхронные двигатели, как понятно из определения, от сети [**переменного тока**](http://electroandi.ru/toe/peremennyj-sinusoidalnyj-tok.html)**.**

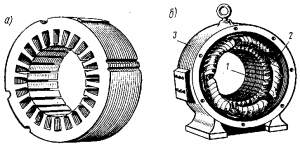


**Устройство асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором**

1 - вал, 2,6 - подшипники, 3,8 - подшипниковые щиты, 4 - лапы, 5 - кожух вентилятора, 7 - крыльчатка вентилятора, 9 - короткозамкнутый ротор, 10 - статор, 11 - коробка выводов.

Основными частями асинхронного двигателя являются статор (10) и ротор (9).

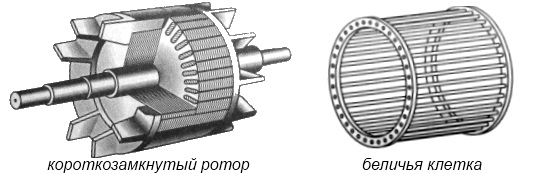
**Статор** имеет цилиндрическую форму, и собирается из листов стали. В пазах сердечника статора уложены обмотки статора, которые выполнены из обмоточного провода. Оси обмоток сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол 120°. В зависимости от подаваемого напряжения концы обмоток соединяются треугольником или звездой.

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/7-1-14.png)

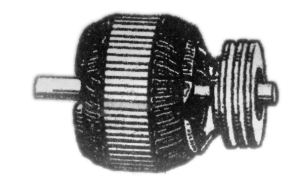
**Пакет статора (а) и статор с обмоткой (б)**

**Роторы** асинхронного двигателя бывают **двух видов:** -короткозамкнутый ротор - фазный ротор.

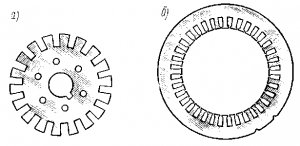
**Короткозамкнутый ротор** представляет собой сердечник, набранный из листов стали. В пазы этого сердечника заливается расплавленный алюминий, в результате чего образуются стержни, которые замыкаются накоротко торцевыми кольцами. Эта конструкция называется **"беличьей клеткой".** В двигателях большой мощности вместо алюминия может применяться медь. **Беличья клетка представляет собой короткозамкнутую обмотку ротора,** откуда собственно название.



**Фазный ротор** имеет трёхфазную обмотку, которая практически не отличается от обмотки статора. В большинстве случаев концы обмоток фазного ротора соединяются в звезду, а свободные концы подводятся к контактным кольцам. С помощью щёток, которые подключены к кольцам, в цепь обмотки ротора можно вводить добавочный резистор. Это нужно для того, чтобы можно было изменять активное сопротивление в цепи ротора, потому что это способствует уменьшению больших пусковых токов.

****

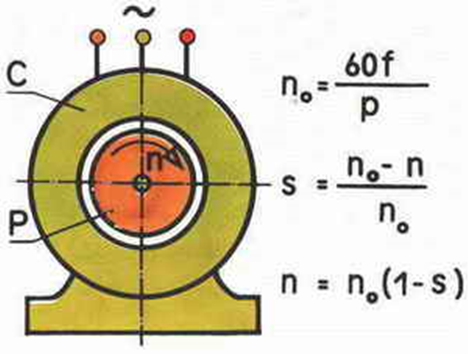
**Фазный ротор**

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/7-1-13.png)

**Листы ротора (а) и статора (б)**

**Принцип работы асинхронного двигателя**

***Принцип работы асинхронной машины основан на использовании вращающегося магнитного поля.***

******

При подключении к сети трехфазной обмотки статора создается вращающееся магнитное поле, скорость которого определяется частотой сети f и числом пар полюсов обмотки p, т.е. **n0=2πf/p.** Пересекая проводники обмотки статора и ротора, это поле индуктирует в обмотках ЭДС (электродвижущую силу) (согласно закону электромагнитной индукции). При замкнутой обмотке ротора ЭДС наводит в цепи ротора ток. В результате взаимодействия тока с результирующим магнитным полем создается электромагнитный момент. Если этот момент превышает момент сопротивления на валу двигателя, вал начинает вращаться и приводить в движение рабочий механизм. Обычно угловая скорость ротора **n** не равна угловой скорости магнитного поля **n0**, называемой синхронной. Отсюда и название ***двигателя асинхронный, т.е. несинхронный. Работа асинхронной машины характеризуется скольжением s,*** которое представляет собой относительную разность линейных скоростей поля статора и ротора: **s= (n0- n) /n0** илидляугловых скоростей поля **ω1** и ротора **ω2** : **s= (ω1- ω2 ) /ω1**

**Скольжение** **s** - *это величина, которая показывает, насколько синхронная частота***n0***магнитного поля статора больше, чем частота вращения ротора****n****, в процентном соотношении.* **s= (n0- n) /n0 х 100%**

Скольжение, это крайне важная величина. В начальный момент времени она равна единице, но по мере возрастания частоты вращения **n** ротора относительная разность частот **n0-n** становится меньше, вследствие чего уменьшаются ЭДС и ток в проводниках ротора, что влечёт за собой уменьшение вращающего момента. В режиме холостого хода, когда двигатель работает без нагрузки на валу, скольжение минимально, но с увеличением статического момента, оно возрастает до величины **sкр-**критического скольжения. Если двигатель превысит это значение, то может произойти так называемое опрокидывание двигателя, и привести в последствии к его нестабильной работе. Значения скольжения лежит в диапазоне от 0 до 1, для асинхронных двигателей общего назначения оно составляет в номинальном режиме - 1 - 8 %.

Как только наступит равновесие между электромагнитным моментом, вызывающим вращение ротора и тормозным моментом создаваемым нагрузкой на валу двигателя процессы изменения величин прекратятся.

Выходит, что **принцип работы асинхронного двигателя заключается *во взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и токов, которые наводятся этим магнитным полем в роторе*.** Причём вращающий момент может возникнуть только в том случае, если существует разность частот вращения магнитных полей.

'

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

***Значение и знак скольжения, зависящие от угловой скорости ротора относительно магнитного поля, определяют режим работы асинхронной машины.*** Так, в режиме идеального холостого хода ротор и магнитное поле вращаются с одинаковой частотой в одном направлении, скольжение **s=0,** ротор неподвижен относительно вращающегося магнитного пол, ЭДС в его обмотке не индуктируется, ток ротора и электромагнитный момент машины равны нулю. ***В соответствии с принципом обратимости электрических машин асинхронные машины могут работать как в двигательном, так и в генераторном режимах. Кроме того, она может работать и в режиме электромагнитного торможения противовключением.***

При пуске ротор в первый момент времени неподвижен: **n** =0, **s=1**. В общем случае скольжение в двигательном режиме изменяется от s=1 при пуске до **s=0** в режиме идеального холостого хода. При вращении ротора со скоростью в направлении вращения магнитного поля скольжение становится отрицательным. Машина переходит в генераторный режим и развивает тормозной момент. При вращении ротора в направлении, противоположном направлению вращения магнитного поли **(s>1)**, асинхронная машина переходит в режим противовключения и также развивает тормозной момент.

Таким образом, **в зависимости от скольжения различают: *- двигательный (s=1÷0), - генераторный режим (s=0÷-∞) - режим противовключення (s=1÷+∞).*** Режимы генераторный и противовключения используют для торможения асинхронных двигателей.

***Двигательный режим.*** Разгону двигателя предшествует его пуск. При пуске трехфазная обмотка статора подключается к сети. Протекающий ток создает вращающееся магнитное поле, оно вращается с частотой **n1**, но ротор в силу инерционности небольшой момент времени остается неподвижным, **n = 0,** тогда при пуске

**http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/DEPEN/ELMASH/EMASH/METOD/15/frame/2.files/image006.gif**.

По мере разгона частота вращения ротора **n** будет расти, а скольжение **S** уменьшаться. Скольжение, соответствующее **номинальной нагрузке двигателя** называют номинальным **Sн.** Для асинхронных двигателей общего назначения **Sн= (1 - 8)%,** при этом для двигателей большой мощности **Sн = 1 %,** а для двигателей малой мощности **Sн = 8 %.**

При помощи постороннего двигателя частота вращения ротора   
машины может быть увеличена до скорости вращения магнитного поля, т. е. **n = n1**

При этом скольжение

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/DEPEN/ELMASH/EMASH/METOD/15/frame/2.files/image008.gif.

В этом случае ротор и поле будут взаимно неподвижны, а токи в роторе и электромагнитные силы исчезнут. Такой режим называют **идеальным холостым ходом асинхронной машины.**

***Генераторный режим.*** Если обмотку статора включить в сеть, а ротор асинхронной машины посредством приводного двигателя вращать в направлении вращения магнитного поля статора с частотой **n > n1**. Так как ротор будет обгонять поле статора, то направление движения ротора относительно поля статора изменится на обратное, по сравнению с двигательным режимом. При этом **скольжение станет отрицательным**

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/DEPEN/ELMASH/EMASH/METOD/15/frame/2.files/image010.gif.

Эдс, наведённая в обмотке ротора, изменит свое направление. Токи и электромагнитный момент ротора изменят свое направление. Такой момент будет противодействовать вращению приводного двигателя. Таким образом, **асинхронная машина, ротор которой вращается в направлении вращения магнитного поля с частотой, превышающей частоту поля, является генератором.**

***Скольжение асинхронной машины в генераторном режиме*** может изменяться в диапазоне: ***меньше 0 но больше - бесконечности*** , т. е. оно принимает ***любые отрицательные значения.***

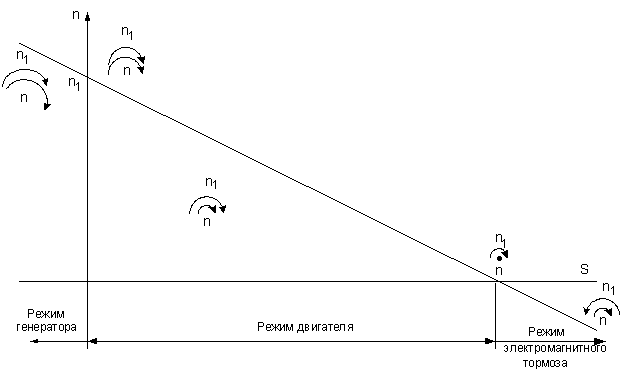
***Режим электромагнитного тормоза.***

В режиме электромагнитного тормоза асинхронная машина работает тогда, когда её ротор и магнитное поле вращаются в разных направлениях. Например, машина работает в двигательном режиме. Если изменим порядок чередования фаз, подводимого к обмоткам статора напряжения, то вращающееся поле статора изменит направление вращения на обратное. При этом ротор асинхронной машины под действием сил инерции будет продолжать вращение в прежнем направлении, т.е. ротор и поле статора будут вращаться в противоположных направлениях. В этих условиях электромагнитный момент машины, направленный в сторону вращения поля статора, будет оказывать на ротор тормозящее действие.

В режиме электромагнитного торможения частота вращения ротора по отношению к частоте вращения поля статора является отрицательной; поэтому скольжение имеет положительное значение

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/DEPEN/ELMASH/EMASH/METOD/15/frame/2.files/image012.gif.

***Скольжение асинхронной машины в режиме торможения противовклю­чением*** может изменяться в диапазоне: ***больше 1 но меньше + бесконечности***, т. е. может принимать любые положительные значения.



**Режимы работы асинхронной машины**

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Объясните принцип действия асинхронного двигателя.

2. Что такое скольжение асинхронной машины?

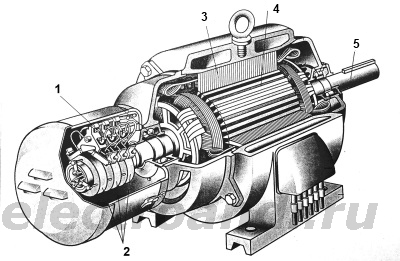
3. Какое скольжение принимает асинхронная машина в двигательном режиме?

4. Каким образом асинхронный двигатель можно перевести в генераторный режим?

**АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ**

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором имеют небольшой пусковой момент и значительный пусковой ток, что является существенным недостатком "беличьей клетки". Поэтому их применяют в тех электрических приводах, где не требуются большие пусковые моменты. Из достоинств следует отметить лёгкость в изготовлении, и отсутствие механического контакта со статической частью машины, что гарантирует долговечность и снижает затраты на обслуживание

**Асинхронный двигатель с фазным ротором** – **это двигатель, который можно регулировать с помощью добавления в цепь ротора добавочных сопротивлений*.*** Обычно такие двигатели применяются при пуске с нагрузкой на валу, так как увеличение сопротивления в цепи ротора, позволяет повысить пусковой момент и уменьшить пусковые токи. Этим асинхронный двигатель с фазным ротором выгодно отличается от АД с короткозамкнутым ротором.



**Устройство АД с фазным ротором:**

1 – щеткодержатель, 2 – контактные кольца, 3 – статор, 4 – ротор, 5 - вал

Статор (3) выполнен, так же как и в обычном [асинхронном двигателе](http://electroandi.ru/elektricheskie-mashiny/asinkhronnyj-dvigatel-printsip-raboty-i-ustrojstvo.html), он представляет из себя полый цилиндр, набранный из листов электротехнической стали, в который уложена трехфазная обмотка.

Ротор (4) по сравнению с короткозамкнутым, представляет из себя более сложную конструкцию. Он состоит из сердечника, в который уложена [трехфазная](http://electroandi.ru/toe/trekhfaznye-elektricheskie-tsepi.html) обмотка, аналогично обмотке статора. Витки обмотки закладываются в пазы сердечника ротора и соединяются по схеме звезда Концы каждой фазы соединяются с контактными кольцами (2), закреплёнными на валу (5) ротора, и через щётки выводятся во внешнюю цепь. Контактные кольца изготавливают из латуни или стали, они должны быть изолированы друг от друга и от вала. В качестве щёток используют металлографитовые щётки, которые прижимаются к контактным кольцам с помощью пружин, которые расположены на щёткодержателе (1), закреплённых неподвижно в корпусе машины.

В эту же цепь вводятся добавочные сопротивления.



**Фазный ротор АД**

Добавочное [сопротивление](http://electroandi.ru/elektrichestvo-i-magnetizm/elektricheskoe-soprotivlenie-provodnikov.html) вводится только при пуске двигателя. Причем им обычно служит ступенчатый реостат, сопротивление которого уменьшают с увеличением оборотов двигателя. Таким образом пуск двигателя осуществляется тоже ступенчато. После того, как разгон закончился и двигатель вышел на естественную механическую характеристику, обмотку ротора закорачивают. Для того, чтобы сохранить щетки и снизить потери на них, в двигателях с фазным ротором существует специальное устройство, которое поднимает щетки и замыкает кольца. Таким образом, удается повысить еще и КПД двигателя.

**Добавочное сопротивление позволяет главным образом осуществить пуск двигателя под нагрузкой**, работать с ним длительное время двигатель не может, так как механические характеристики слишком мягкие и работа двигателя на них нестабильна. Для того чтобы автоматизировать пуск двигателя, в обмотку ротора включают индуктивность. В момент пуска, частота тока в роторе наибольшая, а значит и индуктивное сопротивление максимально. Затем, при разгоне двигателя, частота, как и сопротивление уменьшаются, и двигатель постепенно начинает работать в обычном режиме. За счет усложнения своей конструкции, **асинхронный двигатель с фазным ротором, обладает хорошими пусковыми и регулировочными характеристиками.** Но по той же причине, его стоимость возрастает приблизительно в 1.5 по сравнению с обычным АД, кроме того увеличивается масса, размеры и как правило, уменьшается надежность двигателя.

***Достоинства асинхронного электродвигателя с фазным ротором***

* большой начальный вращающий момент;
* возможность кратковременных механических перегрузок;
* приблизительно постоянная скорость при различных перегрузках;
* меньший пусковой ток по сравнению с [электродвигателями с короткозамкнутым ротором](http://www.mtomd.info/archives/2476);
* возможность применения автоматических пусковых устройств.

***Недостатки асинхронного электродвигателя с фазным ротором***

* большие габариты;
* cos φ и КПД ниже, чем у электродвигателей с короткозамкнутым ротором.