

Содержание раздела

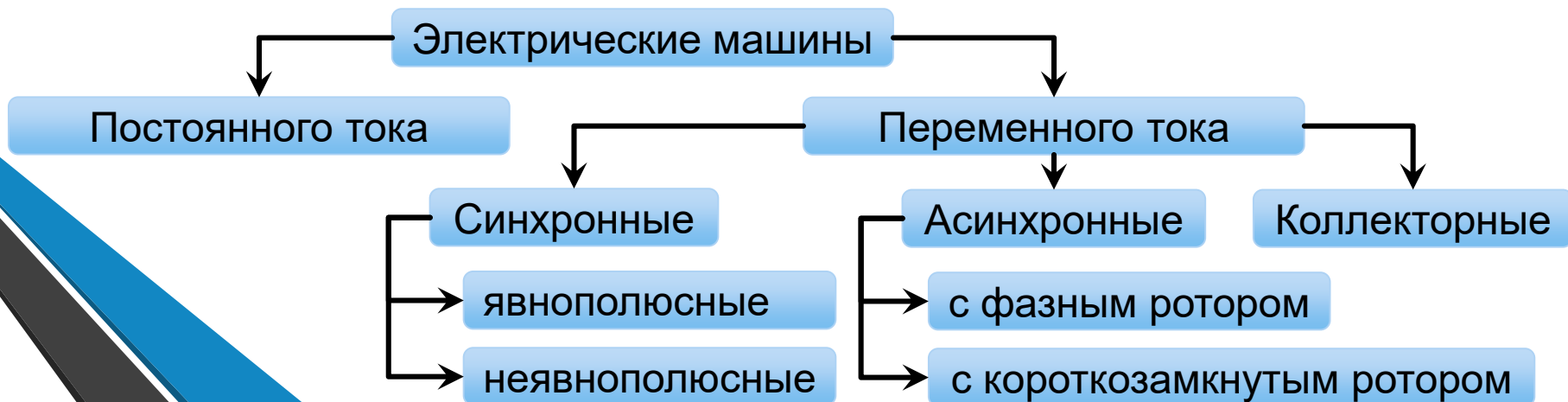
1. Классификация электрических машин
2. Принцип работы электрической машины
3. Устройство асинхронного электродвигателя
4. Принцип действия асинхронного электродвигателя
5. Режимы работы асинхронных машин
6. Электромагнитный момент и механическая характеристика
7. Рабочие характеристики асинхронного электродвигателя
8. Потери и КПД асинхронных электродвигателей
9. Пуск асинхронных электродвигателей
10. Регулирование скорости асинхронных электродвигателей
11. Заключение
12. Вопросы для самоконтроля
13. Литература по разделу

Классификация электрических машин

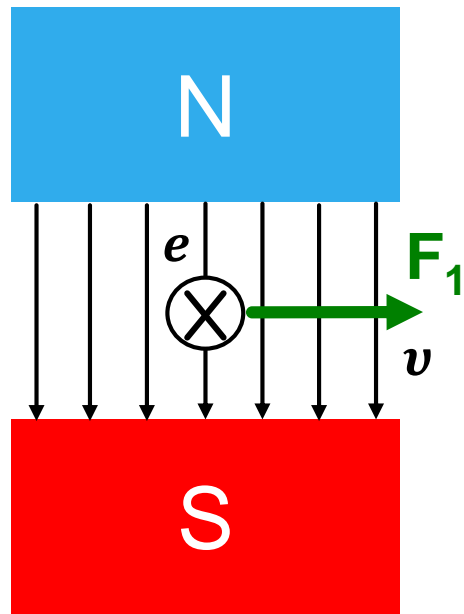
Электрические машины — это электромеханические преобразователи, в которых осуществляется преобразование электрической энергии в механическую или механической в электрическую.

В зависимости от рода потребляемого или отдаваемого в сеть тока электрические машины подразделяются на машины переменного и постоянного тока. Машины переменного тока делятся на *синхронные*, *асинхронные* и коллекторные.

Электрическую машину, преобразующую механическую энергию в электрическую, называют **генератором**. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется **двигателями**. Любая электрическая машина может быть использована как в качестве генератора, так и в качестве двигателя. Свойство электрических машин изменять направление преобразуемой энергии называют *обратимостью*.



Принцип работы электрической машины



Если в магнитном поле полюсов постоянных магнитов или электромагнитов **N** и **S** поместить проводник и под действием какой-либо силы F_1 перемещать его, то в нем возникнет ЭДС

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

где B – магнитная индукция, Тл;

l – активная длина проводника, м;

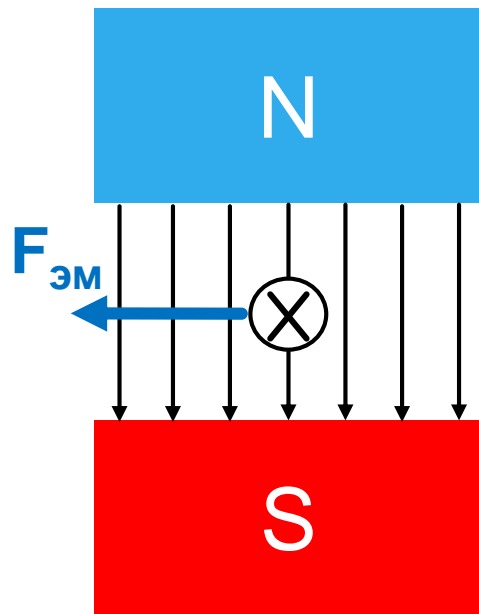
v – скорость перемещения проводника в магнитном поле, м/с;

α – угол между векторами магнитной индукции и скоростью перемещения проводника, градусы

Направление ЭДС, индуцируемой в проводнике, определяется согласно правилу *правой руки* (от зрителя за плоскость чертежа).

Таким образом, механическая энергия, затрачиваемая на перемещение проводника, преобразуется в электрическую, т. е. машина будет работать в режиме **генератора**.

Принцип работы электрической машины



Если в магнитном поле полюсов постоянных магнитов или электромагнитов **N** и **S** поместить проводник, через который пропустить электрический ток, то в результате взаимодействия тока в проводнике и магнитного поля полюсов создается электромагнитная сила $F_{эм}$

$$F_{эм} = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha$$

где I – сила тока в проводнике, А.

Направление действия силы $F_{эм}$, определяется согласно правилу *левой руки*. Под действием этой силы проводник начнет перемещаться в магнитном поле, т. е. машина будет работать как **двигатель**.

Устройство асинхронного электродвигателя

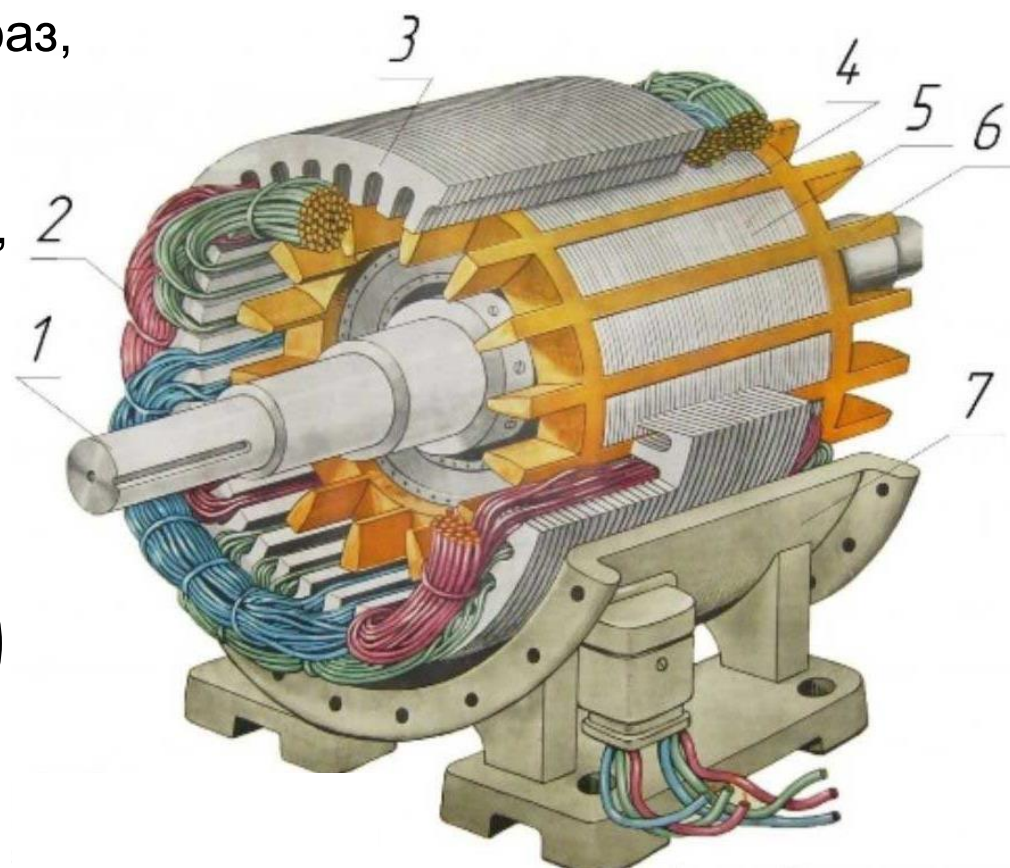
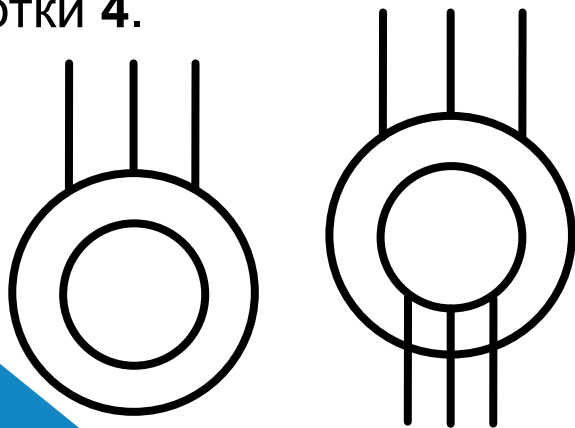
Асинхронный электродвигатель состоит из неподвижной части – **статора** и подвижной части – **ротора**.

Статор состоит из литого корпуса **7**, внутри которого помещен сердечник **3**, собранный из листов электротехнической стали изолированных друг от друга, для уменьшения магнитных потерь.

Сердечник представляет собой полый цилиндр. В пазы сердечника помещена 3-х фазная обмотка **2**.

Обмотка состоит из 3-х фаз, смещенных по окружности статора на 120° .

Ротор – подвижная часть, состоит из сердечника **5**, размещенного на валу и обмотки **4**.



Устройство асинхронного электродвигателя

Обмотка ротора выполненная в виде "беличьей клетки" является короткозамкнутой и выводов не имеет.

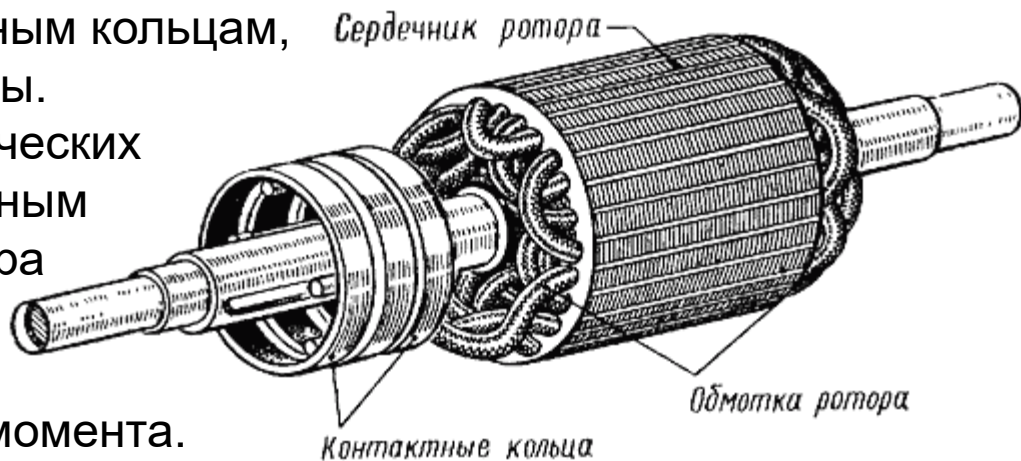
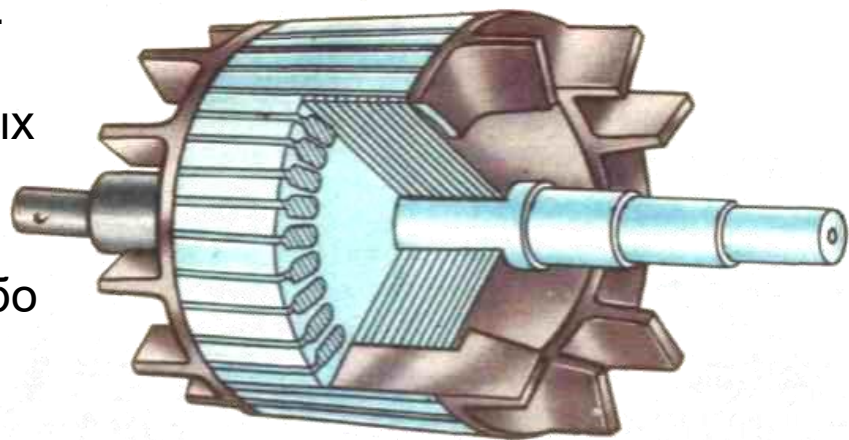
Беличья клетка состоит из медных или алюминиевых стержней, замкнутых накоротко с торцов двумя кольцами.

Стержни этой обмотки вставляют в пазы сердечника ротора без какой-либо изоляции.

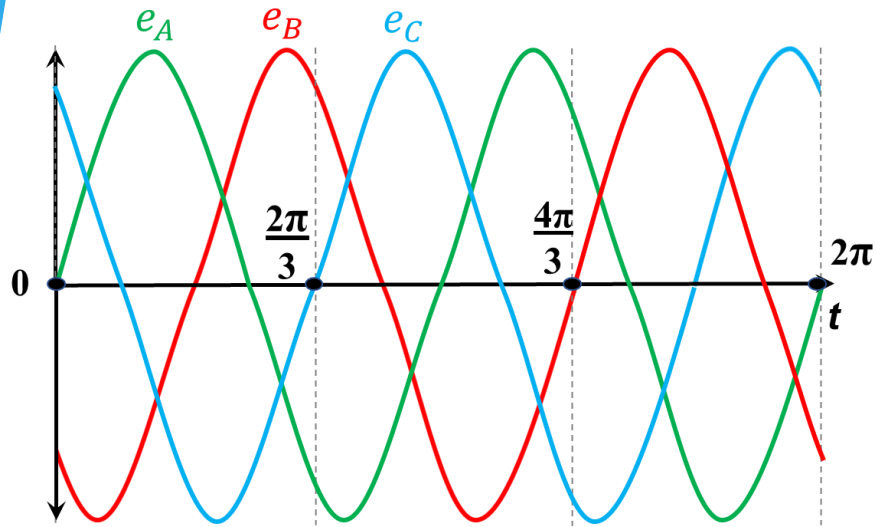
Вместе со стержнями беличьей клетки отливают замыкающие кольца и торцевые лопасти, осуществляющие вентиляцию машин. Особенно пригоден для этой цели алюминий, так как он обладает малым удельным весом, легкоплавкостью и достаточно высокой электропроводностью.

Фазный ротор имеет трехфазную обмотку с тем же числом полюсов, что и статор. Обмотку ротора обычно соединяют звездой, выводы которой присоединяют к трем контактными кольцам, закрепленным на валу машины.

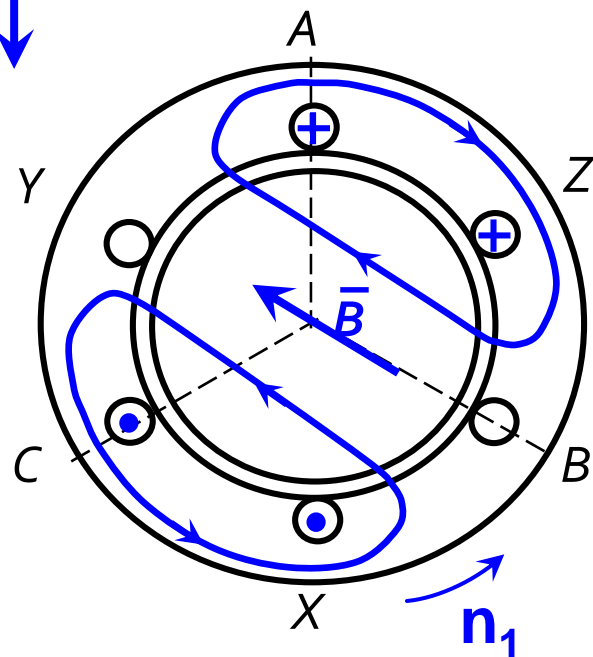
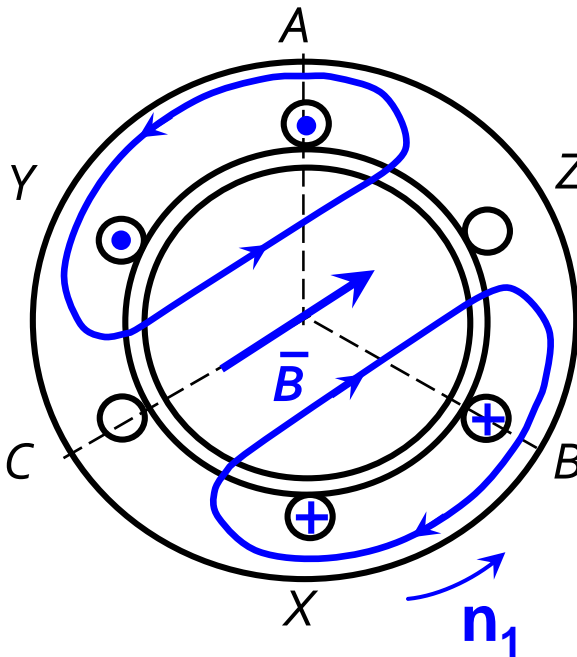
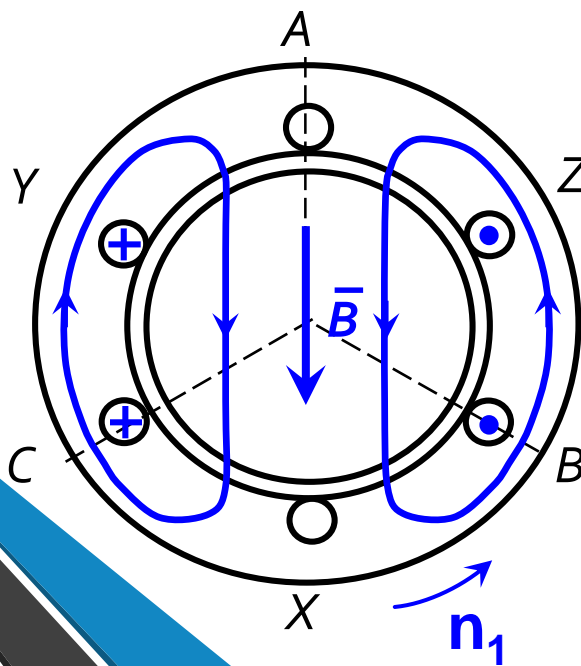
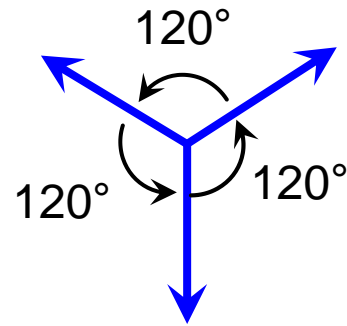
С помощью металлографических щеток, скользящих по контактными кольцам, в цепь обмотки ротора включают пусковой реостат с целью ограничения пускового тока и увеличения пускового момента.



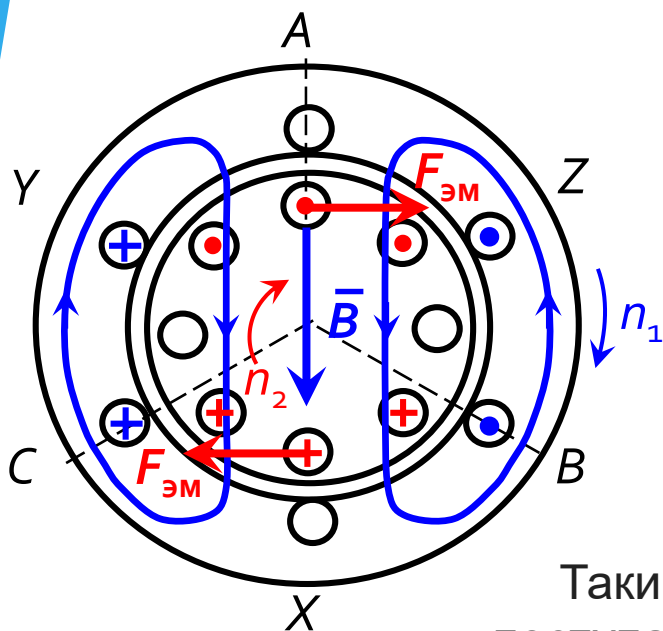
Принцип действия асинхронного электродвигателя



Под действием трехфазного напряжения, подведенного к обмотке статора в ней наводится вращающееся магнитное поле.



Принцип действия асинхронного электродвигателя



Частота вращения магнитного поля
(синхронная частота вращения):

$$n_1 = 60 f_1 / p$$

Совокупность сил $F_{ЭМ}$ создает электро-
магнитный момент $M_{ЭМ}$, приводящий во
вращение ротор с частотой

$$n_2 < n_1$$

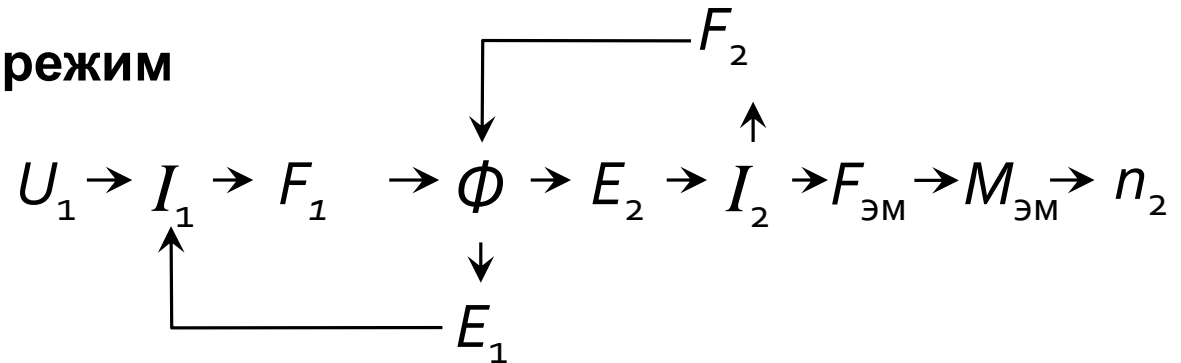
Таким образом электрическая энергия,
поступающая из сети в обмотку статора,
преобразуется в механическую энергию вращения
ротора

Направление вращения магнитного поля, а, следовательно и
направление вращения ротора АД, зависят от порядка чередования фаз
напряжения U_1 .

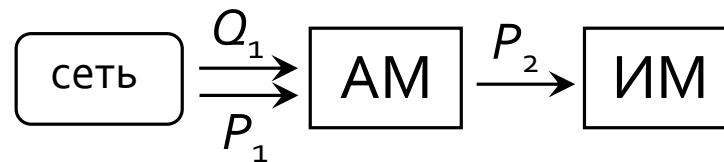
Частота вращения ротора n_2 в АД всегда меньше частоты
вращения магнитного поля n_1 , так как только в этом случае
происходит наведение ЭДС в обмотке ротора

Режимы работы асинхронных машин

Двигательный режим



Электромагнитный момент $M_{эм}$ в этом режиме – **вращающий**.
Под действием момента $M_{эм}$ ротор двигателя приходит во вращение с частотой $n_2 < n_1$ в сторону вращения поля.



Скольжение

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$$

относительная разность частот вращения ротора и магнитного поля

В режиме двигателя

$$0 < S \leq 1$$

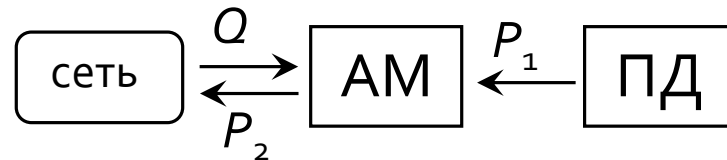
При пуске АД: $n_2 = 0 \Rightarrow S = 1$;

В номинальном режиме: $S_{ном} = (1 \dots 8)\%$

Режимы работы асинхронных машин

Генераторный режим

Если обмотку статора подключить к сети, а ротор АМ вращать приводным двигателем в направлении вращения магнитного поля с частотой $n_2 > n_1$, то ротор будет обгонять поле статора, а ЭДС наведенная в обмотке ротора изменит свое направление.



Электромагнитный момент $M_{эм}$ в этом режиме – **тормозящий** по отношению к вращающему моменту ПД.

В режиме генератора $-\infty < S < 0$

Особенность работы АГ: вращающееся магнитное поле создается реактивной мощностью Q трехфазной сети, в которую включен генератор и куда он отдает вырабатываемую активную мощность P_2 .

Таким образом для работы АГ необходим источник переменного тока, при подключении к которому происходит возбуждение генератора.

Режимы работы асинхронных машин

Режим электромагнитного торможения противовключением

Если у работающего трехфазного АД поменять местами любую пару подключенных к сети выводов, то поле статора изменит направление вращения на обратное, а ротор АМ под действием сил инерции будет продолжать вращение в прежнем направлении.

При этом *электромагнитный момент машины* $M_{эм}$, направленный в сторону вращения магнитного поля статора, будет оказывать на ротор **тормозящее воздействие**.

Активная мощность, поступающая в машину из сети, *затрачивается на компенсацию механической мощности вращающегося ротора*, т.е. на торможение.

В этом режиме $n_2 < 0$, тогда

$$S = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} > 1$$

Общий вывод:

Характерной особенностью АМ является *неравенство частот вращения магнитного поля статора n_1 и ротора n_2* , т.е. наличие *скольжения*, т.к. только в этом случае в обмотке ротора наводится ЭДС и возникает электромагнитный момент.

Электромагнитный момент и механическая характеристика

Электромагнитный момент АД создается в результате взаимодействия тока в обмотке ротора и вращающегося магнитного поля

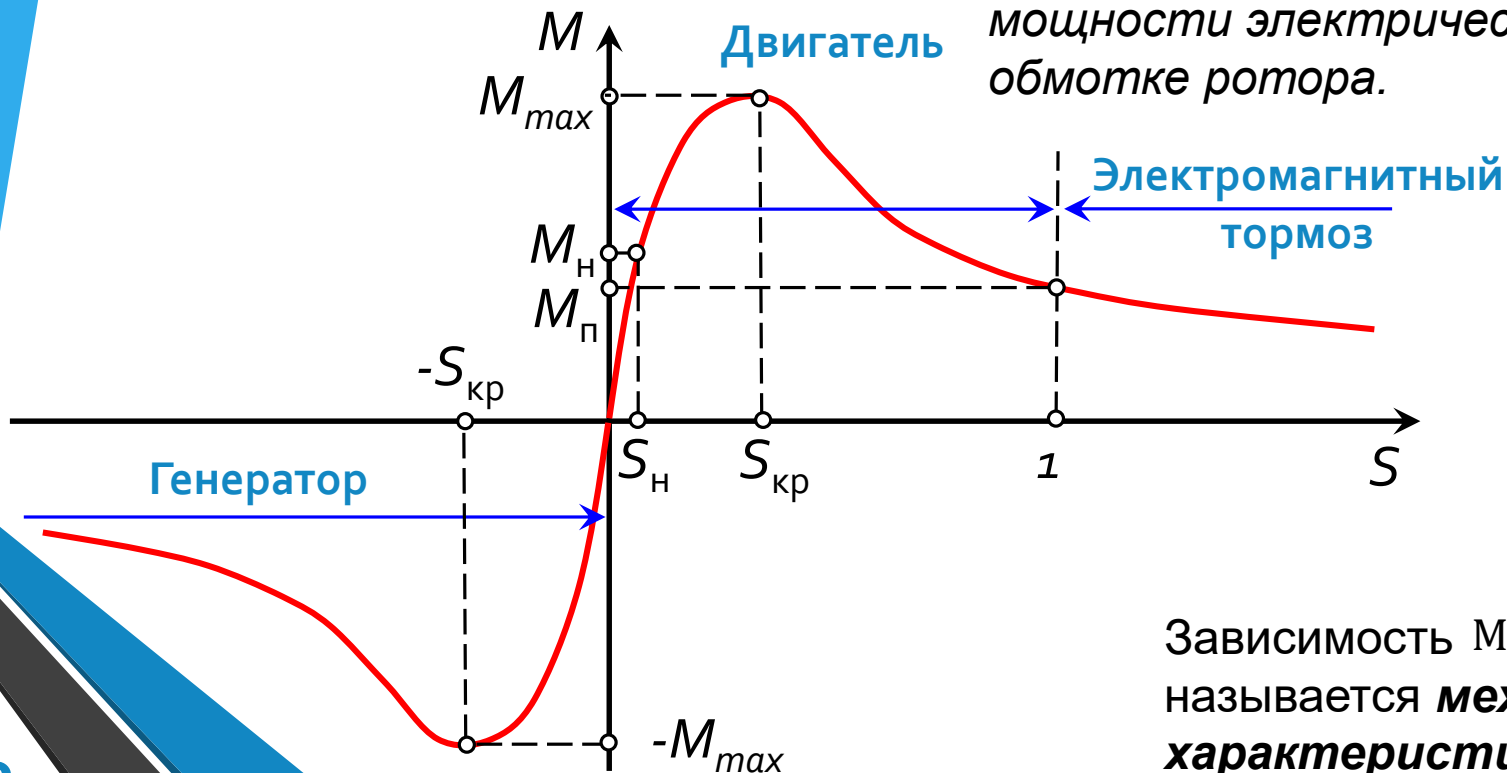
$$M_{\text{ЭМ}} = P_{\text{ЭМ}} / \omega_1,$$

где ω_1 - угловая синхронная скорость вращения

$$\omega_1 = 2\pi n_1 / 60 = 2\pi f_1 / p$$

т.к. $P_{\text{ЭМ}} = P_{\text{эл}_2} / S$, то $M_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{эл}_2}}{S \omega_1}$,

следовательно, электромагнитный момент АД пропорционален мощности электрических потерь в обмотке ротора.



Зависимость $M_{\text{ЭМ}} = f(S)$, называется **механической характеристикой**

Рабочие характеристики асинхронного электродвигателя

К **рабочим характеристикам** относятся зависимости от полезной мощности :

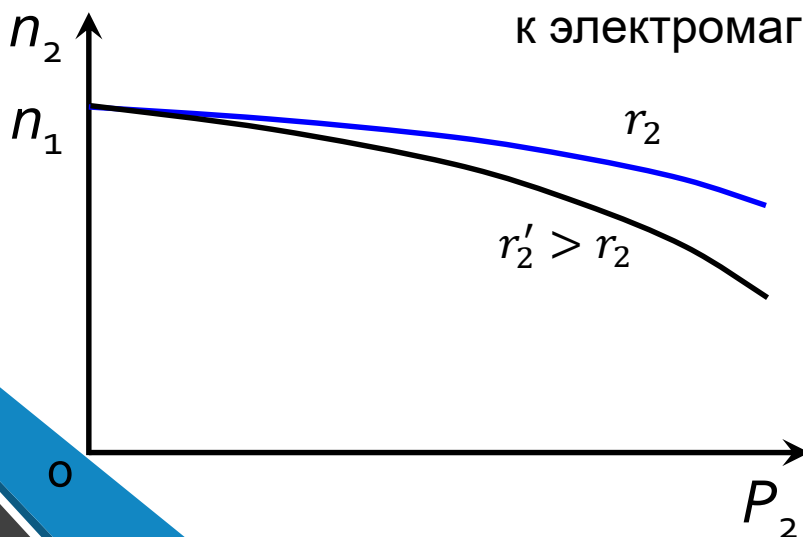
при $U_1 - const$

и $f_1 - const$

- частоты вращения $n_2 = f(P_2)$,
- коэффициента полезного действия $\eta = f(P_2)$,
- полезного момента (момента на валу) $M_2 = f(P_2)$,
- коэффициента мощности $\cos\varphi_1 = f(P_2)$,
- тока статора $I_1 = f(P_2)$

Скоростная характеристика $n_2 = f(P_2)$

$n_2 = n_1(1 - S)$ и $S = P_{эл2}/P_{эм}$ - скольжение АД и его частота вращения определяются отношением электрических потерь к электромагнитной мощности



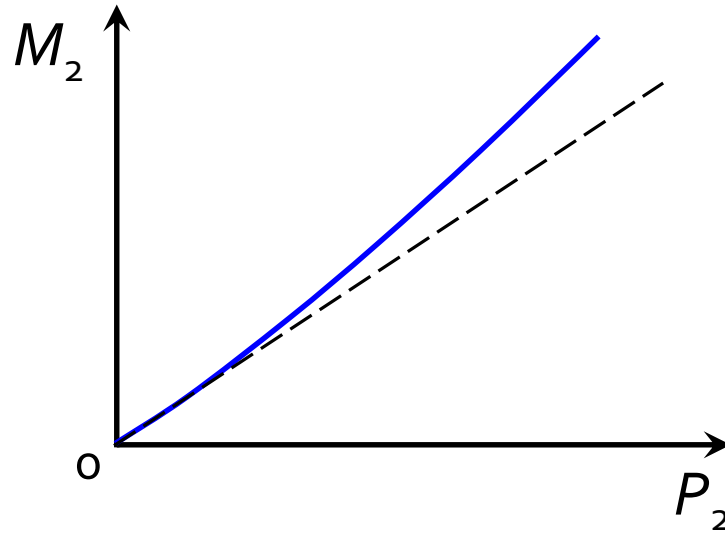
Увеличение активного сопротивления ротора r_2 приводит к росту наклона характеристики.

Рабочие характеристики асинхронного электродвигателя

Зависимость полезного момента (момента на валу) от полезной мощности $M_2 = f(P_2)$,

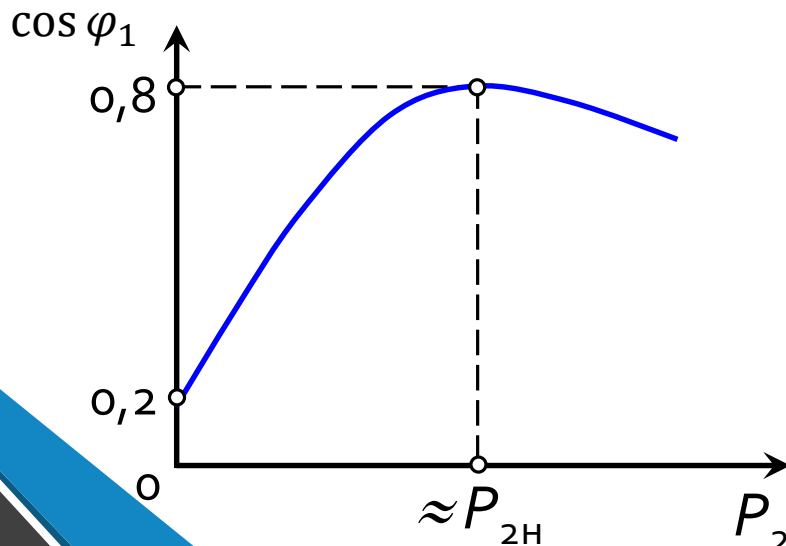
$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{60P_2}{2\pi n_2},$$

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n_2}$$



Зависимость коэффициента мощности от полезной мощности

$$\cos \varphi_1 = f(P_2)$$



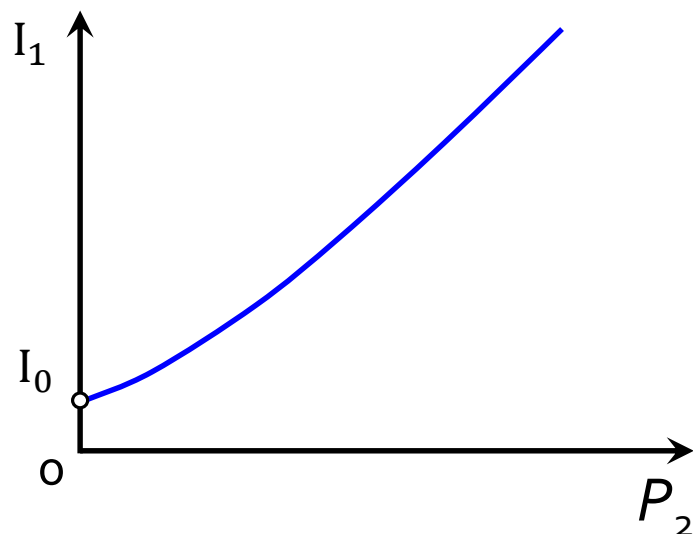
В режиме х.х. $\cos \varphi_{10} \approx 0,2$

При нагрузке близкой к номинальной
 $\cos \varphi_{1н} \approx 0,8 \div 0,9$

При нагрузке более номинальной $\cos \varphi_1$ снижается из-за возрастания X_2 за счет увеличения скольжения

Рабочие характеристики асинхронного электродвигателя

Зависимость тока статора от полезной мощности $I_1 = f(P_2)$



В режиме х.х.: $I_1 \approx I_0$ - индуктивная, намагничивающая составляющая тока

Дальнейший рост I_1 в основном за счет увеличения активной составляющей

В табличке, закрепляемой на корпусе двигателя, содержится информация о заводе-изготовителе, типе двигателя, количестве фаз, частоте питающей сети, номинальной мощности, коэффициенте мощности, частоте вращения, способах соединения обмотки статора, токе и КПД двигателя. На табличке указывается также год изготовления машины, ГОСТ, класс изоляции, режим работы двигателя (S1 — длительный, S3 — повторно-кратковременный).

Двигатель асинхронный

Тип	6A80A8Y3	№	1386
3-фазн. ~	50 Гц	180 W	735 об/мин
Δ/Y	220/380 В	0,75/0,42 А	КПД 66 %
cos φ	0,65	8,5 кг	P44
Режим	S1	Кл. изол.	B 20 03 г.

Потери и КПД асинхронных электродвигателей

Преобразование электрической энергии в механическую в АД сопровождается потерями энергии:

$$P_2 = P_1 - \sum P.$$

Потери $\sum P$: *основные и добавочные.*

Основные потери: магнитные, электрические, механические.

Магнитные потери: $P_M = P_{\text{ГИСТ}} + P_{\text{В.Т.}}$ - потери на гистерезис и вихревые токи происходят в основном в сердечнике статора при его перемагничивании

Т.к. частота перемагничивания равна частоте тока в обмотке, а для ротора $f_2 = f_1 \cdot S = 2,5$ Гц (при частоте $f_1 = 50$ Гц и $S_H = 5\%$) и магнитные потери в сердечнике ротора в практических расчетах можно не учитывать

Электрические потери возникают при протекании электрического тока по обмоткам и приводят к их нагреву $P_{\text{ЭЛ}} = P_{\text{ЭЛ}_1} + P_{\text{ЭЛ}_2} = m_1 I_1^2 r_1 + m_2 I_2^2 r_2$

Электрические потери в роторе пропорциональны скольжению

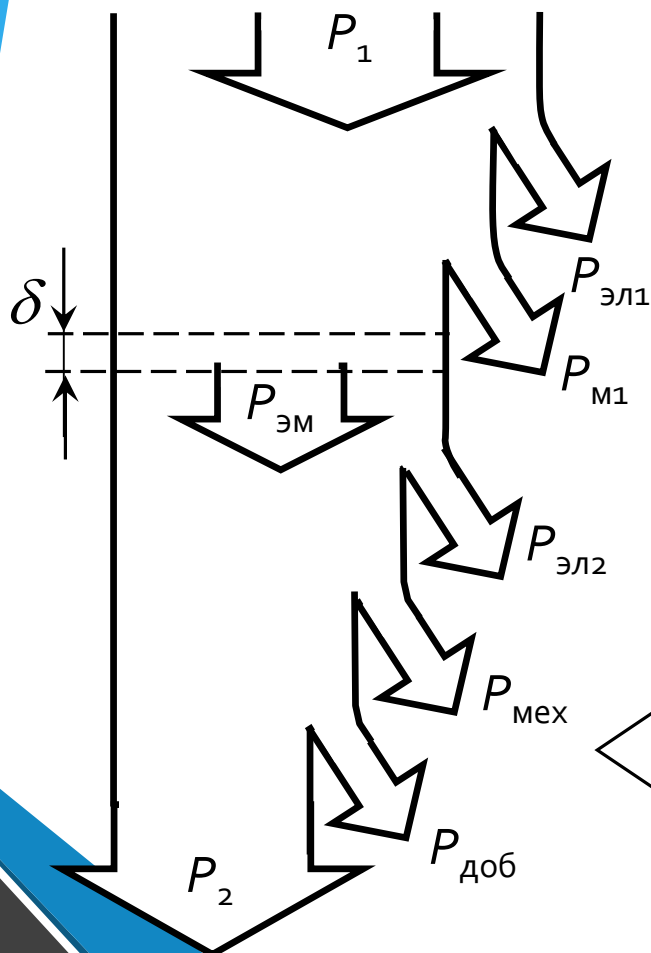
$$P_{\text{ЭЛ}_2} = S \cdot P_{\text{ЭМ}},$$

где $P_{\text{ЭМ}} = P_1 - (P_M + P_{\text{ЭЛ}_1})$ - электромагнитная мощность АД.

Потери и КПД асинхронных электродвигателей

Механические потери $P_{\text{мех}}$ - потери на преодоление сил трения в подшипниках и на вентиляцию, а также сил трения в скользящем контакте (в АД с фазным ротором).

Добавочные потери $P_{\text{доб}}$ - включают в себя все виды трудноучитываемых потерь, вызванных действием высших гармоник МДС, пульсацией магнитной индукции в зубцах и другими причинами.



Сумма всех потерь в АД:

$$\sum P = P_{\text{эл1}} + P_{\text{м1}} + P_{\text{эл2}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}$$

Энергетическая диаграмма АД

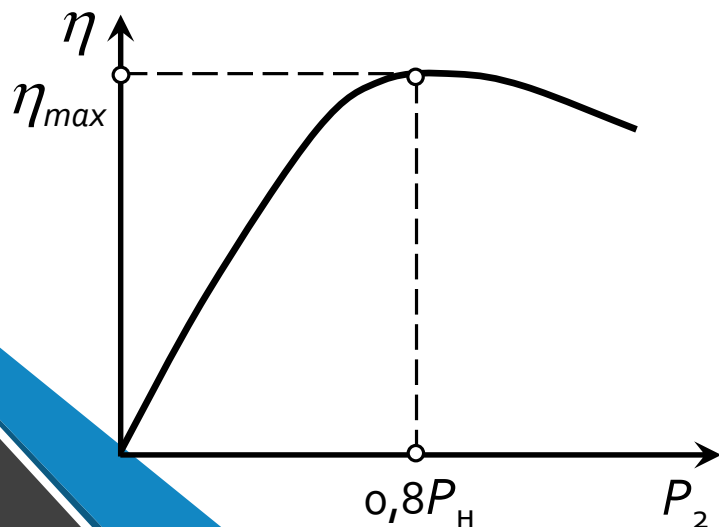
Потери и КПД асинхронных электродвигателей

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1}$$

Переменные потери, величина которых зависит от нагрузки, - это электрические потери в обмотках $P_{эл} = P_{эл_1} + P_{эл_2}$ и добавочные потери $P_{доб}$

Постоянные потери - это магнитные потери P_M , а также механические потери $P_{мех}$ которые можно считать почти постоянными, т.к. у АД частота вращения изменяется незначительно.



При $P_2 > P_{2H}$ значение η убывает, что объясняется интенсивным ростом переменных потерь $P_{эл_1} + P_{эл_2} + P_{доб}$

$$\eta_{ном} = (75 \dots 95)\%$$

Пуск асинхронных двигателей с к.з. ротором

Пусковые свойства АД определяются значениями пускового тока $I_{\text{п}}$ и пускового момента $M_{\text{п}}$

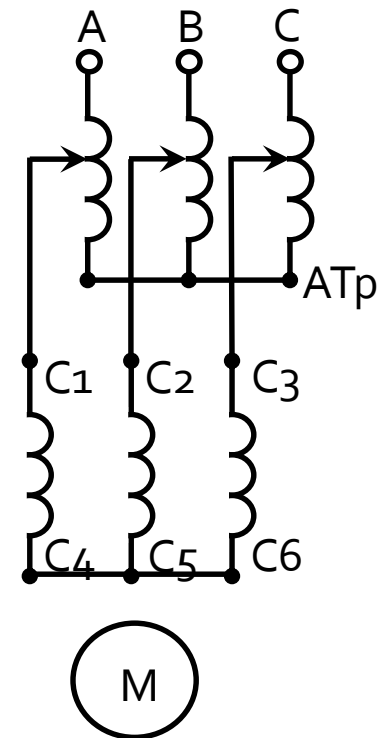
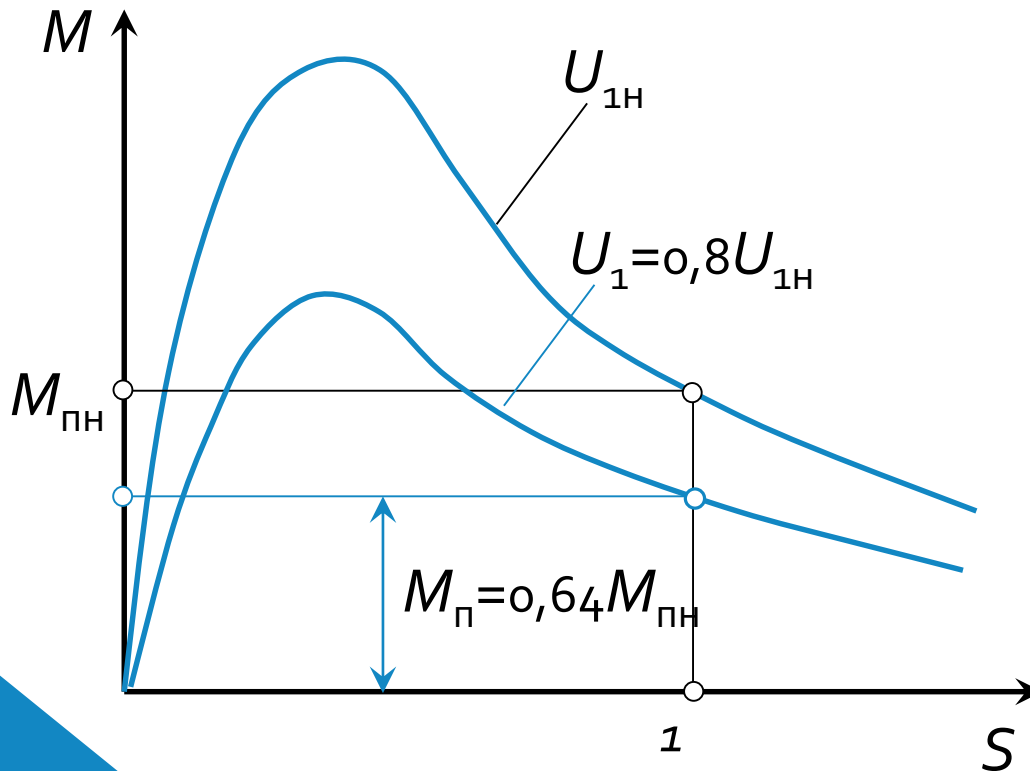
Пуск АД непосредственным включением в сеть:

Пусковой ток $I_{\text{п}} = (5 \dots 7) I_{\text{н}}$, значительный $M_{\text{п}}$ Применяется в АД мощностью до (30...50) кВт

Пуск при пониженном напряжении:

Снижение пускового тока $I_{\text{п}}$ сопровождается снижением пускового момента $M_{\text{п}}$

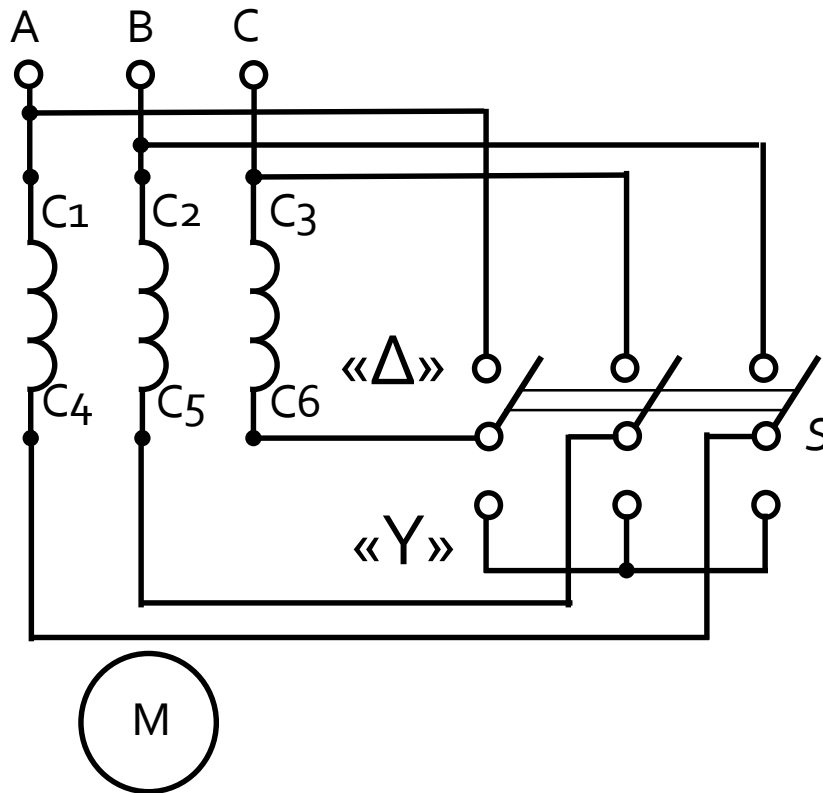
Понижение напряжения посредством реакторов и автотрансформаторов



Пуск асинхронных двигателей с к.з. ротором

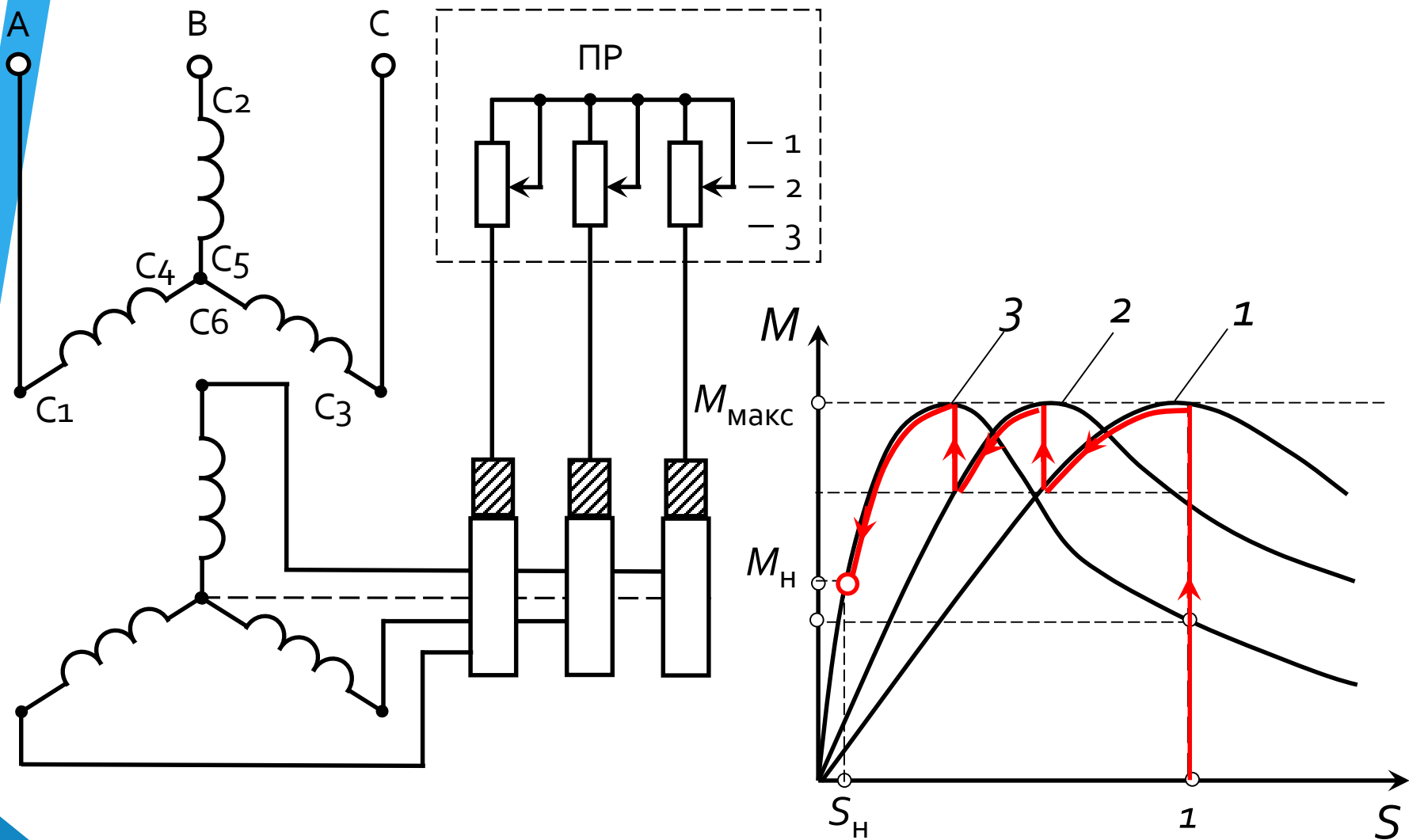
Пуск при пониженном напряжении:

- переключением обмотки статора со звезды на треугольник



$$U_{\phi Y} = \frac{U_{\phi \Delta}}{\sqrt{3}}$$

Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором



Регулирование частоты вращения АД

$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{60f_1}{p}(1 - S)$$

Частоту вращения ротора АД можно регулировать изменением:

1. *скольжения S* ;
2. *частоты тока в обмотке статора f_1* ;
3. *числа пар полюсов в обмотке статора p* .

Изменение скольжения возможно:

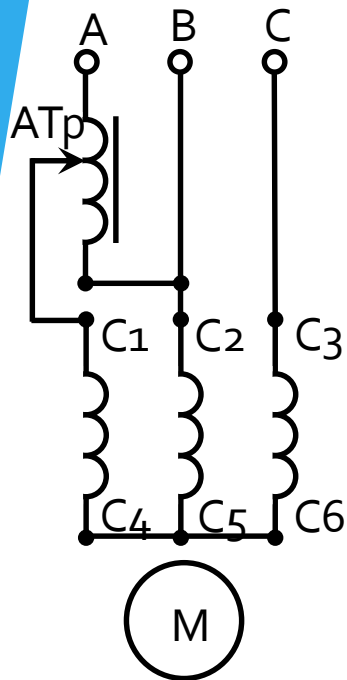
- а) изменением подводимого напряжения;
- б) нарушением симметрии этого напряжения;
- в) изменением активного сопротивления обмотки ротора.

1.а **изменением подводимого напряжения**

Недостатки этого способа:

- узкий диапазон регулирования;
- неэкономичность регулирования (необходимость в дополнительном оборудовании).

Регулирование частоты вращения АД



1.б

нарушением симметрии подводимого напряжения

Вращающееся магнитное поле становится **эллиптическим** и приобретает обратную составляющую, создающую **тормозящий момент $M_{обр}$** .

Недостатки этого способа:

- узкий диапазон регулирования;
- снижение КПД при увеличении несимметрии.

1.в

изменением активного сопротивления обмотки ротора

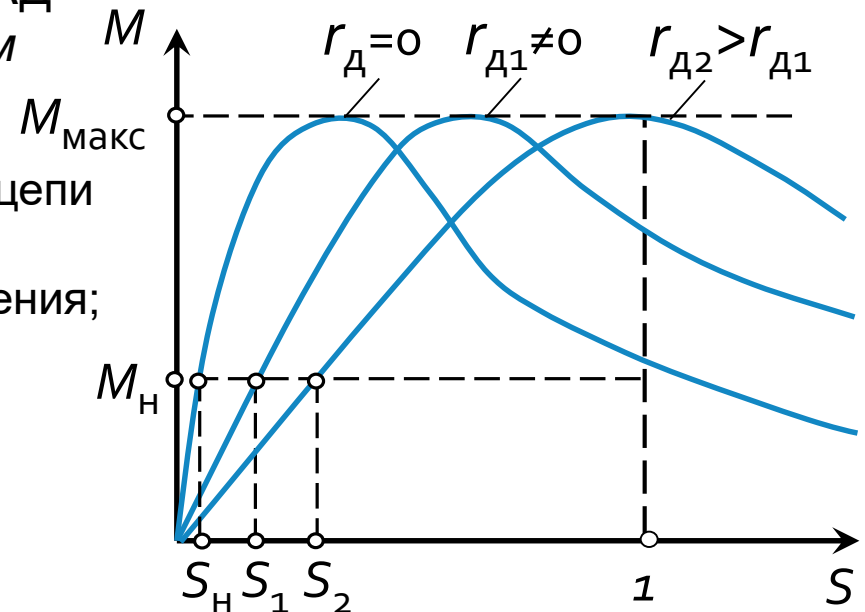
Возможно лишь в АД с фазным ротором

Недостатки этого способа:

- неэкономичность (из-за роста потерь в цепи ротора);
- рост влияния нагрузки на частоту вращения;
- регулирование n_2 только «вниз».

Достоинство:

- обеспечение улучшенных пусковых характеристик.



Регулирование частоты вращения АД

2) Изменением частоты тока в статоре: $n_2 = n_1(1 - S) = \frac{60f_1}{p}(1 - S)$
т.е. изменением *синхронной частоты вращения*

за счет использования источников питания с регулируемой частотой тока
- *преобразователей частоты* (электромашинных, полупроводниковых и т.д.)

Достоинство: широкий диапазон регулирования (до 12:1)

Недостаток: преобразователь частоты значительно удорожает установку.

3) Изменением числа полюсов обмотки статора

- путем укладки такой обмотки, конструкция которой позволяет получать различное число полюсов, переключая катушечные группы.

Ступенчатое регулирование
(при $f_1=50$ Гц)

p	1	2	3	4	5
n_1 , об/мин	3000	1500	1000	750	600

Применяется только в асинхронных двигателях с *короткозамкнутым ротором*.

(В АД с фазным ротором пришлось бы переключать и обмотку ротора.)

Заключение

Электрические машины — это электромеханические преобразователи, в которых осуществляется преобразование электрической энергии в механическую или механической в электрическую.

В зависимости от рода потребляемого или отдаваемого в сеть тока электрические машины подразделяются на машины переменного и постоянного тока. Машины переменного тока делятся на синхронные, асинхронные и коллекторные.

Электрическую машину, преобразующую механическую энергию в электрическую, называют генератором. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется двигателями.

Если в магнитном поле полюсов постоянных магнитов или электромагнитов поместить проводник и под действием какой-либо силы перемещать его, то в нем возникнет ЭДС, направление которой определяется согласно правилу Флеминга (правой руки) (генераторный режим).

Если же через проводник в магнитном поле пропустить ток, то создается сила Лоренца, направление которой определяется согласно правилу левой руки (двигательный режим).

Изобретателем асинхронного электродвигателя является русский электротехник Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1891 год).

Заключение

Асинхронный электродвигатель состоит из неподвижной части (статора) и подвижной части (ротора). В пазах сердечника статора размещена трехфазная обмотка.

Обмотка ротора может быть короткозамкнутой – состоящей из медных или алюминиевых стержней, замкнутых накоротко с торцов двумя кольцами.

Фазный ротор имеет трехфазную обмотку с тем же числом полюсов, что и статор. Обмотку ротора обычно соединяют звездой, выводы которой присоединяют к трем контактными кольцам, закрепленным на валу машины. С помощью металлографических щеток, скользящих по контактными кольцам, в цепь обмотки ротора включают пусковой реостат с целью ограничения пускового тока и увеличения пускового момента.

Под действием трехфазного напряжения, подведенного к обмотке статора, в ней наводится вращающееся магнитное поле.

Под действием магнитного поля обмотки статора в стержнях обмотки ротора наводится ток. Взаимодействие тока обмотки ротора с магнитным полем статора вызывает появление электромагнитных сил, приводящих во вращение ротор в том же направлении, что и поле статора, но с отстающей частотой вращения.

Относительная разность частот вращения ротора и магнитного поля называется скольжением, которое в режиме двигателя изменяется от единицы до нуля.

Заключение

Если обмотку статора подключить к сети, а ротор вращать приводным двигателем в направлении вращения магнитного поля с большей скоростью, то ротор будет обгонять поле статора, а ЭДС наведенная в обмотке ротора изменит свое направление – машина будет работать генератором.

Если у работающего асинхронного электродвигателя поменять местами любую пару подключенных к сети выводов, то поле статора изменит направление вращения на обратное, а ротор под действием сил инерции будет продолжать вращение в прежнем направлении – машина перейдет в режим электромагнитного тормоза.

Электромагнитный момент электродвигателя прямо равен отношению полезной мощности к угловой частоте вращения ротора. Зависимость момента от скольжения называется механической характеристикой.

К рабочим характеристикам электродвигателя относят зависимости частоты вращения, КПД, момента, коэффициента мощности, потребляемой мощности и тока статора от полезной мощности.

В табличке, закрепляемой на корпусе двигателя, содержится информация о заводе-изготовителе, типе двигателя, количестве фаз, частоте питающей сети, номинальной мощности, коэффициенте мощности, частоте вращения, способах соединения обмотки статора, токе и КПД двигателя.

Заключение

Потери в электрических машинах делятся на основные (магнитные, электрические и механические) и добавочные.

Магнитные потери пропорциональны частоте тока и величине магнитной индукции, электрические определяются произведением квадрата тока на электрическое сопротивление обмоток, механические – зависят от частоты вращения ротора.

Добавочные потери – включают в себя все виды трудно учитываемых потерь, вызванных действием высших гармоник МДС, пульсацией магнитной индукции в зубцах и другими причинами.

Пусковые свойства асинхронного электродвигателя определяются значениями пускового тока и пускового момента.

Двигатели с короткозамкнутым ротором могут запускаться либо непосредственно от сети, что сопровождается большими пусковыми токами, либо при пониженном (посредством реакторов и автотрансформаторов, переключением обмотки статора со звезды на треугольник) напряжении.

Двигатели с фазным ротором запускаются посредством пускового реостата, включенного в цепь обмотки ротора.

Частоту вращения ротора асинхронного электродвигателя можно регулировать изменением: скольжения S ; частоты тока в обмотке статора f_1 ; числа пар полюсов в обмотке статора p .

Заключение

Изменение скольжения возможно: изменением подводимого напряжения; нарушением симметрии этого напряжения; изменением активного сопротивления обмотки ротора.

Изменение частоты тока в обмотке статора за счет преобразователей частоты позволяет в широких пределах регулировать частоты вращения, однако значительно удорожает стоимость электропривода.

Изменение числа полюсов обмотки статора позволяет ступенчато регулировать частоту вращения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором путем переключения обмоток статора.

Таким образом, недостаток асинхронных электродвигателей – неэкономичность регулирования частоты вращения компенсируется простотой конструкции, небольшой стоимостью, высокой надёжностью в эксплуатации.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите признаки классификации электрических машин.
2. Объясните принцип работы электрической машины.
3. Как определяется направление действия ЭДС и силы Лоренца в электрической машине?
4. Из каких частей состоит асинхронный трёхфазный двигатель, как они устроены и для чего служит каждая часть?
5. В чём различие конструкций короткозамкнутого и фазного роторов?
6. Чему равно число фаз и количество витков в фазе короткозамкнутой обмотки ротора типа «беличья клетка»?
7. Почему магнитопровод ротора выполняют шихтованным, хотя частота тока в нем обычно невелика?
8. От чего зависит направление вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя?
9. Как определяется частота вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя?
10. Как число полюсов машины связано со скоростью вращения магнитного поля?
11. Какую наибольшую частоту вращения магнитного поля можно получить, используя ток промышленной частоты 50 Гц?
12. Объясните принцип действия трёхфазного асинхронного двигателя.
13. Почему асинхронный двигатель принципиально не может достичь синхронной скорости?

Вопросы для самоконтроля

14. Что называют скольжением асинхронного двигателя? Как определяется скольжение?
15. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
16. Как изменяется скольжение при разгоне двигателя?
17. Почему асинхронные генераторы не получили широкого распространения несмотря на то, что они имеют некоторые положительные свойства? Какие именно?
18. Перечислите и поясните способы торможения трёхфазного асинхронного электродвигателя.
19. От чего зависит вращающий момент асинхронного двигателя?
20. Дайте определение механической характеристики асинхронного двигателя. Постройте механическую характеристику асинхронного двигателя. Какой участок механической характеристики определяет область устойчивой работы асинхронного двигателя?
21. Какие характеристики асинхронного двигателя относят к рабочим характеристикам?
22. Как изменится скольжение асинхронного двигателя при введении в цепь ротора добавочного сопротивления и неизменной нагрузке на валу?
23. Изобразите схематически клеммную коробку электродвигателя и покажите на ней как соединить обмотки статора трёхфазного асинхронного электродвигателя по схеме звезды и по схеме треугольника, а также подключение электродвигателя к сети.

Вопросы для самоконтроля

24. Почему и в каких режимах пренебрегают потерями в стали ротора?
25. Из каких соображений выбирается тот или другой способ пуска асинхронного двигателя? Чем ограничивается применение непосредственного запуска (прямым включением в сеть)?
26. Для чего увеличивают активное сопротивление роторной цепи асинхронного двигателя в момент пуска?
27. Почему пусковой ток в 5-7 раз превышает номинальное значение тока, а пусковой вращающий момент двигателя превышает номинальное значение только в 2 раза?
28. Почему коэффициент мощности асинхронного двигателя меняется с изменением нагрузки?
29. Какими способами уменьшают пусковой ток асинхронных двигателей?
30. Как можно увеличить пусковой момент асинхронных двигателей?
31. Для чего в цепь фазного ротора на период пуска вводят добавочное сопротивление? При какой величине этого сопротивления пусковой момент будет равен максимальному. Нельзя ли вместо активного использовать индуктивное сопротивление?
32. Как регулируют скорость вращения асинхронных двигателей?
33. Как изменяется момент на валу трёхфазного асинхронного электродвигателя при переключении обмоток статора со схемы звезды на схему треугольника?
34. Как включить в сеть однофазного тока трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором?

Литература по разделу

1. **Касаткин, А.С.** Электротехника: учеб. для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
2. **Беспалов, В.Я.** Электрические машины: учеб пособие для студ. высш. учеб. заведений /В.Я. Беспалов, Н.Ф. Котеленец. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.
3. **Китаев, В.Е.** Электрические машины. Ч.II. Машины переменного тока: учеб. пособие для техникумов /Под. ред. В.Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – 184 с.
4. **Wyatt, D.** Aircraft Electrical and Electronic Systems / D. Wyatt, M. Tooley. – Second Edition – NY, Routledge, 2018. – 439 p.