

Асинхронные машины

Асинхронная машина – это машина, в которой при работе возбуждается вращающееся магнитное поле, но ротор которой вращается асинхронно, т.е. со скоростью, отличной от скорости поля.



Предложена русским изобретателем М.О. Доливо-Добровольским в 1888г.



95% приводов производственных механизмов имеют в своем составе асинхронный двигатель (подъемно-транспортные системы; устройства электропривода станков; медицинское оборудование и бытовые приборы)



Достоинства:

- простота конструкции; надежность
- низкая себестоимость
- высокий срок службы
- высокий пусковой момент и перегрузочная способность



Асинхронный двигатель может работать с длительной перегрузкой, допускает частые пуски и реверсы. **Основной недостаток** - сложность регулирования частоты вращения.

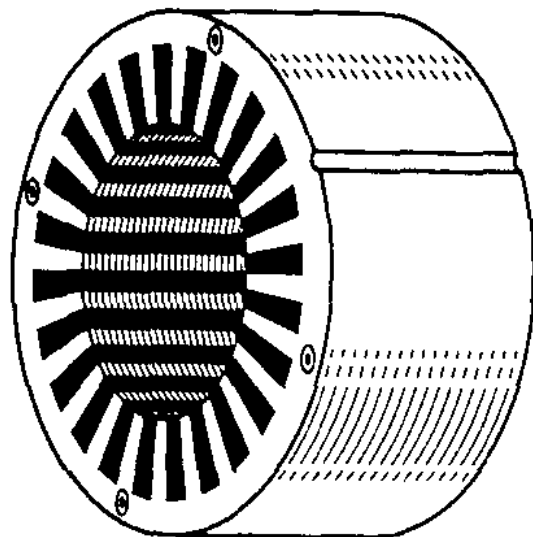
Мощность асинхронных двигателей составляет от десятков мегаватт до долей ватт.

Выпускаются в виде серий, охватывающих определенный набор мощностей, частот вращения и напряжений. Машины одной серии имеют общее конструктивное решение, технологию изготовления и однотипность материалов (4А от 0,06 до 400 кВт).



Устройство асинхронной машины

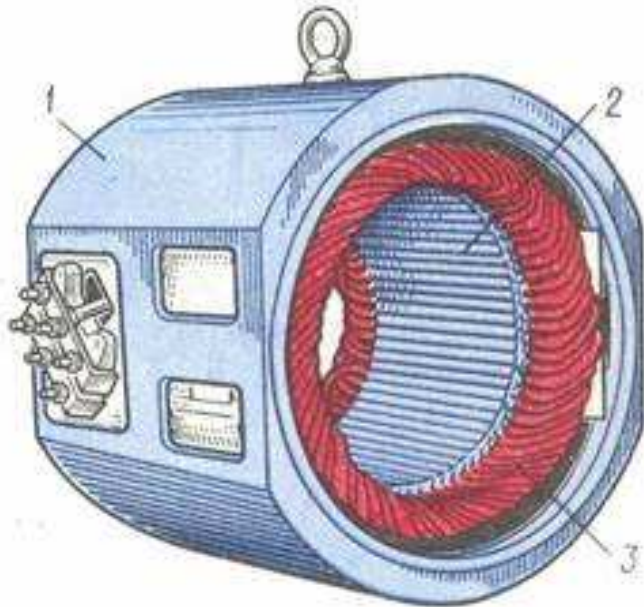
Асинхронная машина состоит из статора и вращающегося ротора.



a

Сердечник статора – полый цилиндр, собранный из колец (электротехническая сталь - 0,5 мм). Кольца изолированы друг от друга слоями лака (уменьшение магнитных потерь). Пакет колец запрессован в **станину**, которая крепится к основанию.

**В пазах статора размещаются три фазные обмотки.
Каждая фазная обмотка состоит из нескольких
последовательно включенных катушек**



1 – станина;

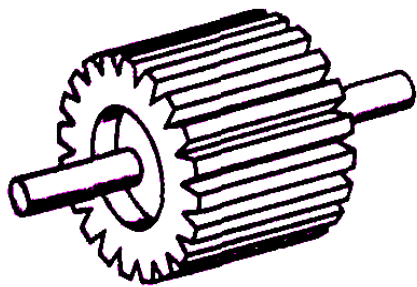
2 – внутренняя поверхность листов;

3 – трехфазная обмотка

Начала и концы фаз выведены на щиток, закреплённый на станине.

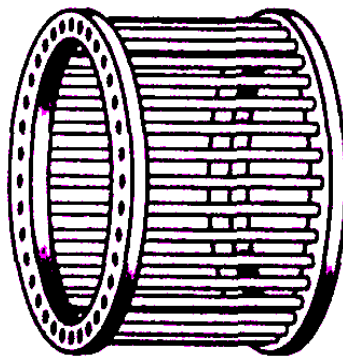
На щитке, 660/380, Y/Δ. Двигатель включать в сеть с $U_{л} = 660В$ по схеме Y или в сеть с $U_{л}=380В$ – по схеме Δ.

Ротор – цилиндрический сердечник, собранный из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга лаком. Сердечник ротора насажен на вал, закрепленный в подшипниках. В пазах расположены витки обмотки ротора.



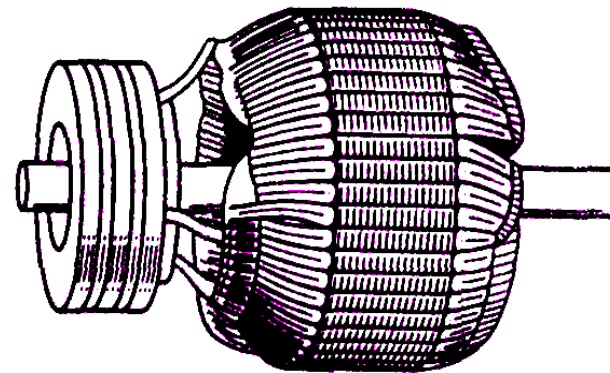
a

сердечник



б

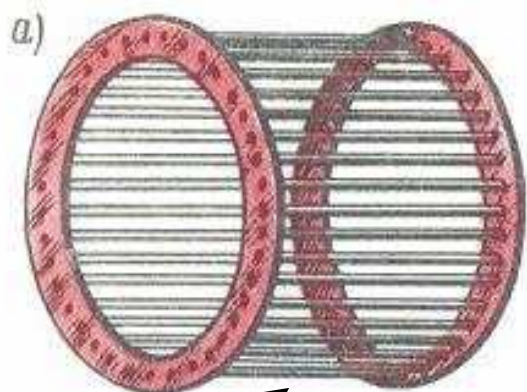
короткозамкнутый
ротор



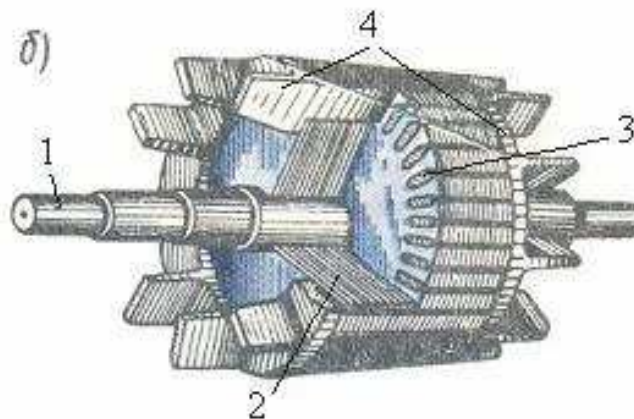
в

фазный ротор

В большинстве двигателей применяется короткозамкнутый ротор (дешевле, обслуживание проще, надежен, т.к. нет подвижных контактов)



клетка из медных или алюминиевых стержней, которые без изоляции вставляются в пазы ротора



1 – вал; ; 3 – стержни, которые закладываются в пазы сердечника ротора; 4 – торцевые кольца

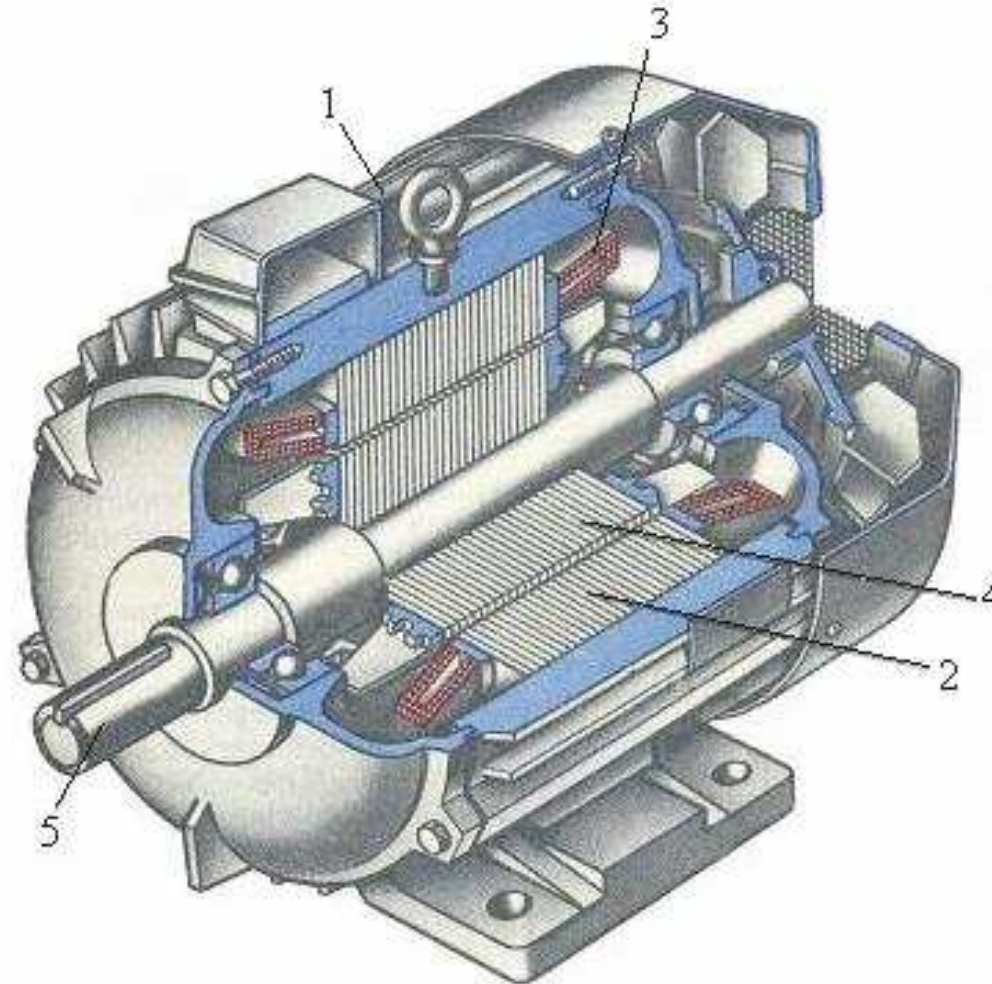
**Торцевые концы стержней замыкаются накоротко
кольцами из того же материала.**

**Часто обмотка изготавливается путем заливки
пазов ротора расплавленным алюминием.**



Асинхронная машина с короткозамкнутым ротором в разрезе:

1 – станина, 2 – сердечник статора, 3 – обмотка статора, 4 – сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой, 5 – вал.

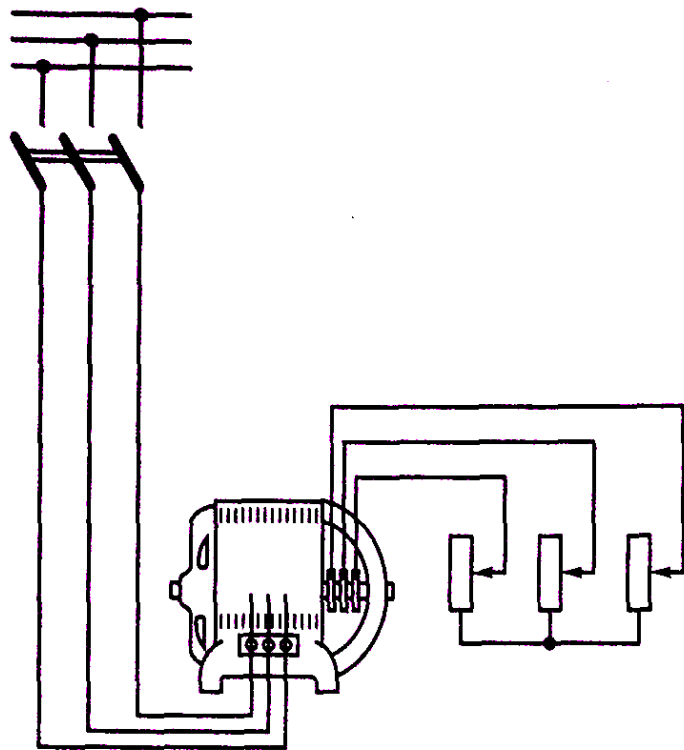


Доливо-Добровольский создал двигатель с короткозамкнутым ротором и исследовал его свойства.

Он выяснил, что у таких двигателей есть очень серьёзный недостаток – **ограниченный пусковой момент из-за сильно закороченного ротора**. Им же была предложена конструкция двигателя с фазным ротором.

Обмотка фазного ротора выполняется изолированным проводом (обычно трехфазная с тем же числом катушек, что и обмотка статора).





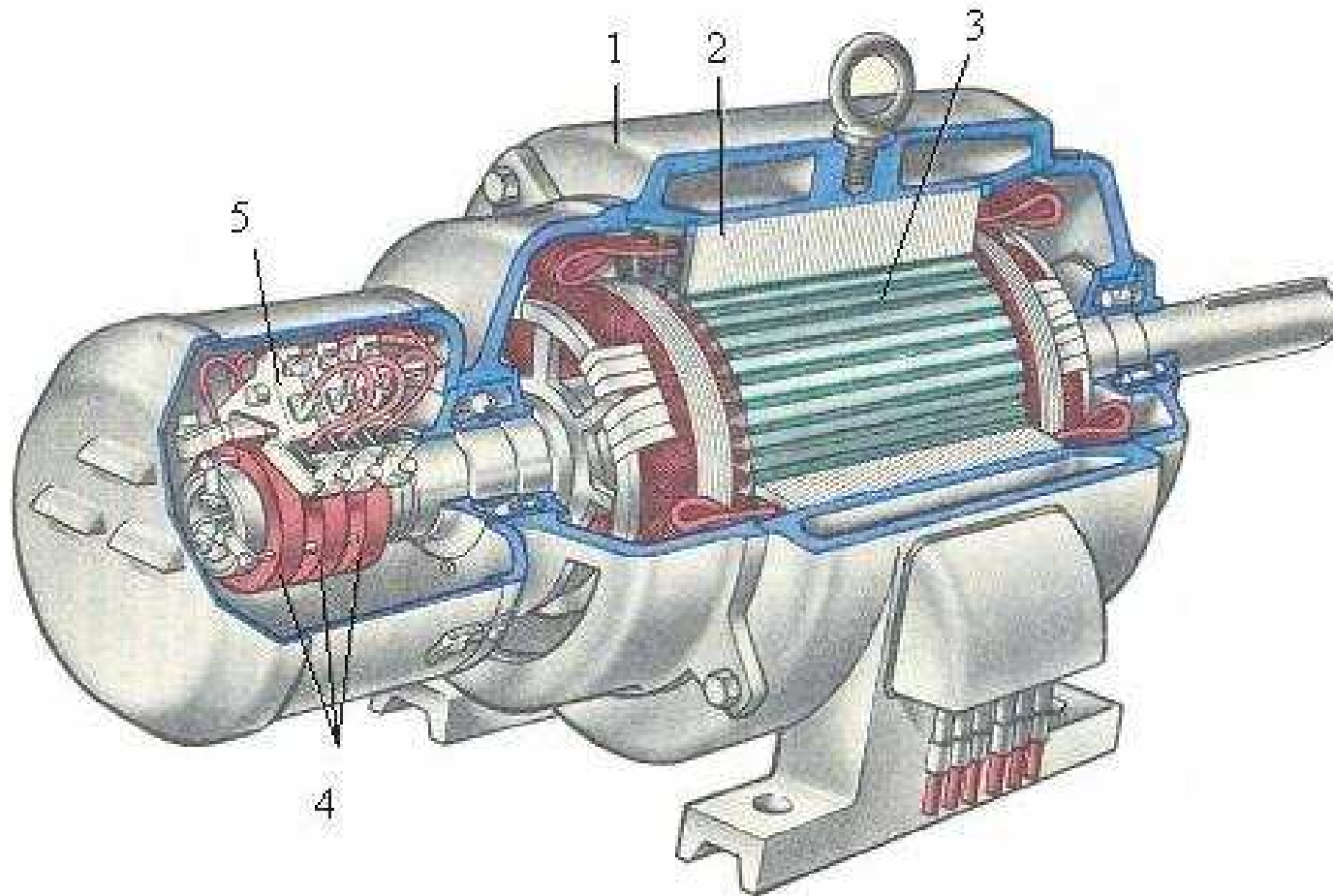
Три фазные обмотки ротора соединяются звездой, а свободные концы соединяются с тремя контактными кольцами (чугун или медь), укрепленными на валу машины.

На кольца наложены щетки, установленные в щеткодержателях. Через щетки и кольца обмотка присоединена к трехфазному реостату.

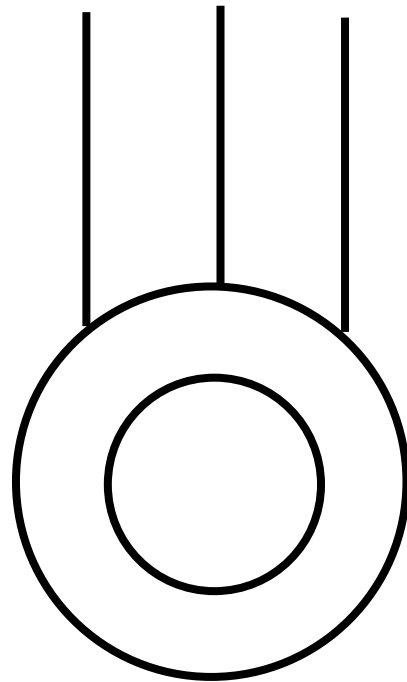


Асинхронный двигатель с фазным ротором в разрезе:

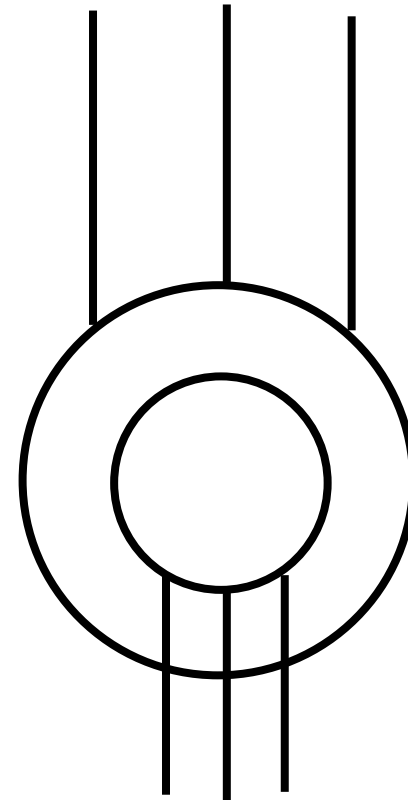
1 – станина, 2 – пазы статора,
3 – ротор, 4 – контактные кольца, 5 – щетки.



Условные обозначения



с короткозамкнутым
ротором



с фазным ротором

На щитке машины приводятся данные: P_H , U_H , I_H , n_H , а также тип машины.

P_H – это номинальная полезная мощность (на валу)

U_H и I_H – номинальные значения линейного напряжения и тока для указанной схемы соединения.

Например, тип машины 4АН315S8. Это асинхронный двигатель (А) четвёртой серии защищённого исполнения. Если буква Н отсутствует, то двигатель закрытого исполнения.

315 – высота оси вращения в мм;

S – установочные размеры (они задаются в справочнике);

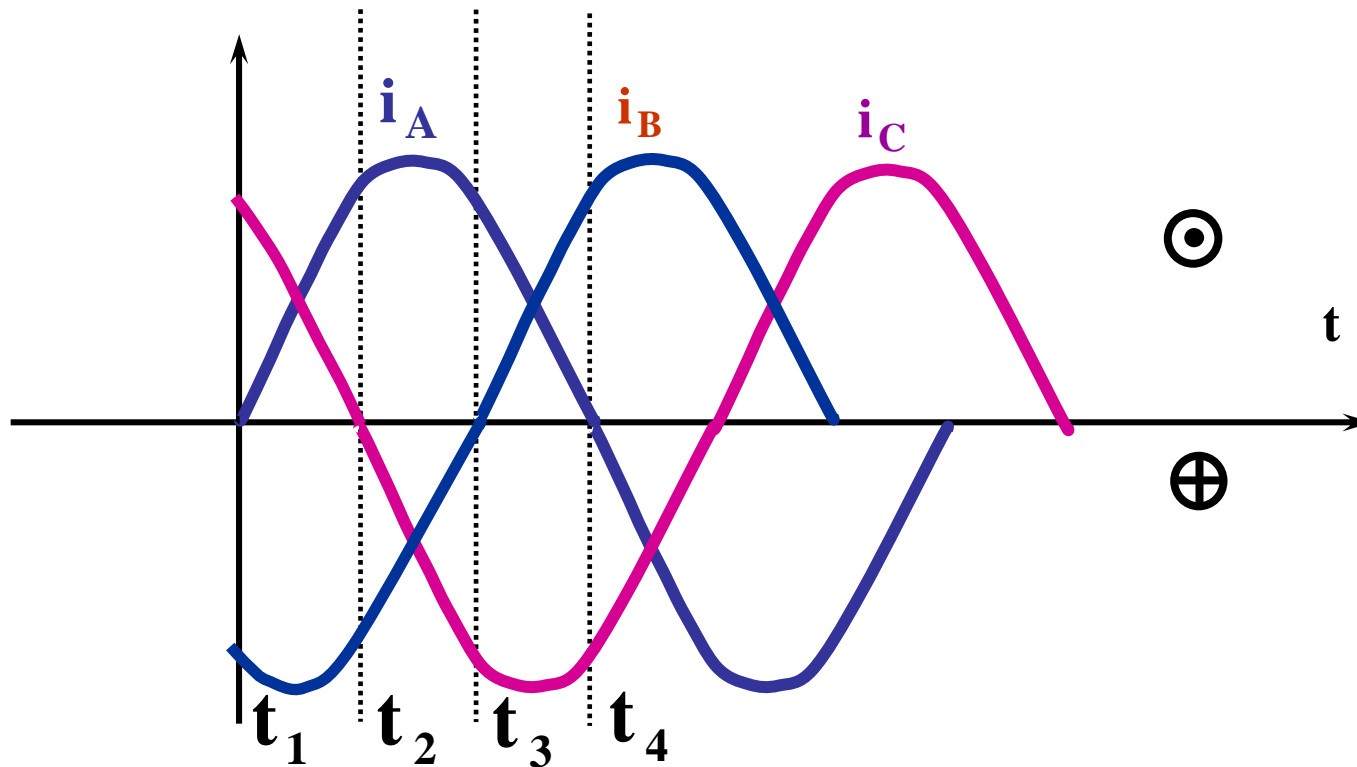
8 – число полюсов машины.



Создание вращающегося магнитного поля

Если три катушки, расположенные под углом 120° , включить в трехфазную сеть \sim тока, а в центре поместить магнитную стрелку на оси, то стрелка придет во вращение. Следовательно, катушки создают вращающееся магнитное поле.

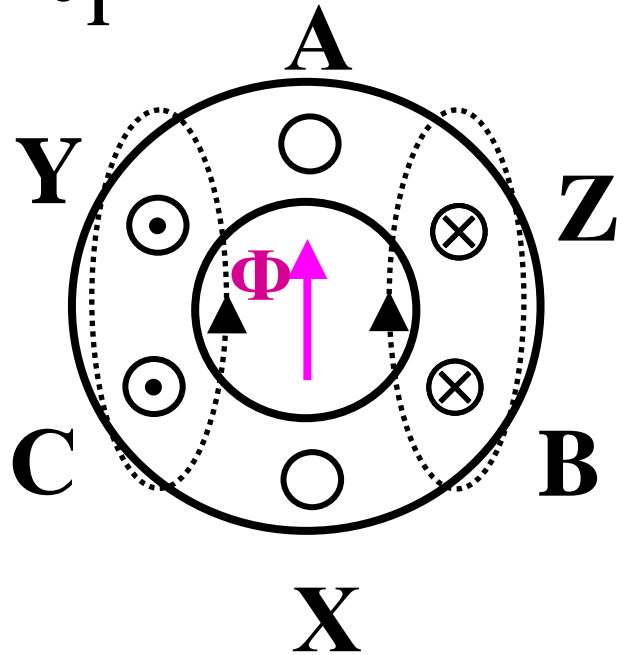




Выбираем моменты времени через одну шестую часть периода.
 Ток в начале обмотки будем считать направленным к нам, если его значение положительно. Для каждого момента изобразим направление магнитного поля статора машины, которая имеет три обмотки по одному витку.

Начала обмоток обозначим буквами А, В, С, а
 концы – Х, Y, Z.

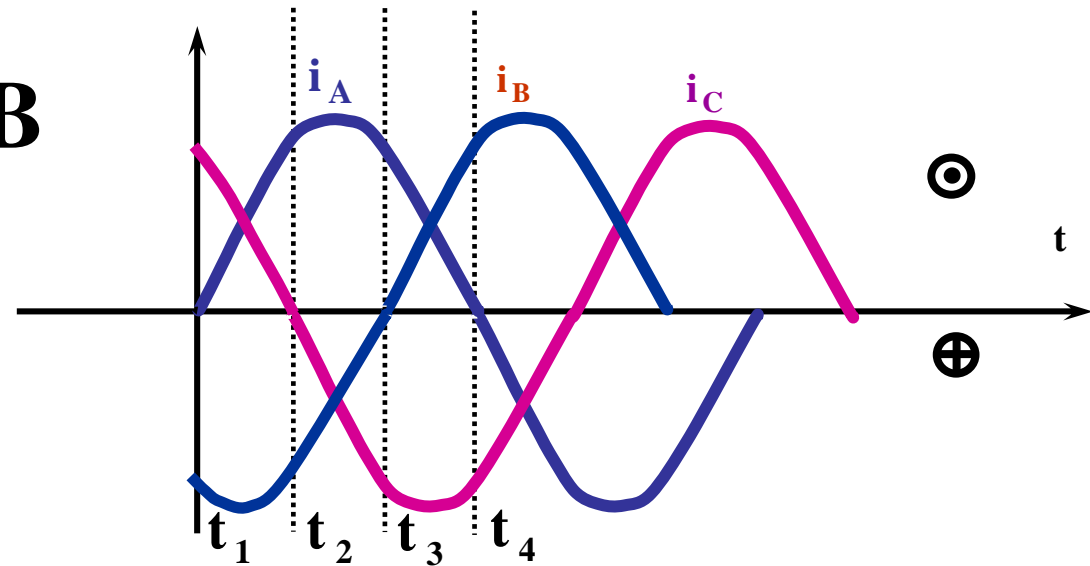
$t = t_1$



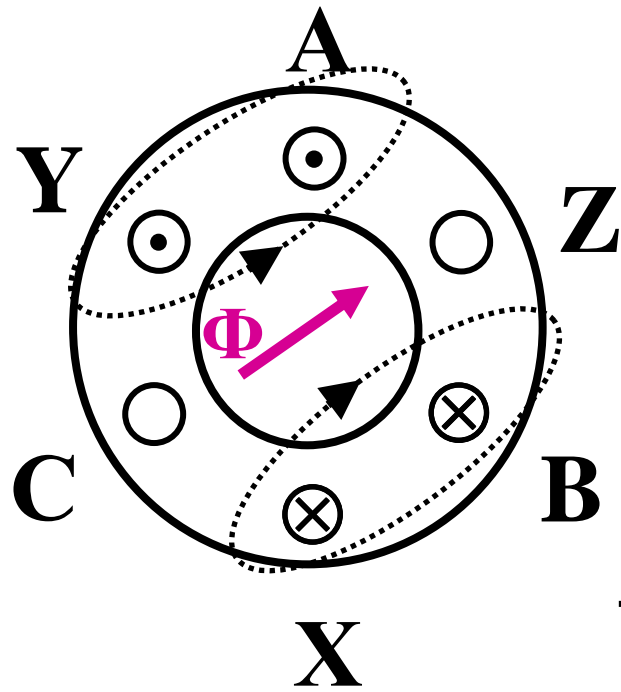
$$i_A = 0,$$

$$i_B < 0,$$

$$i_C > 0$$



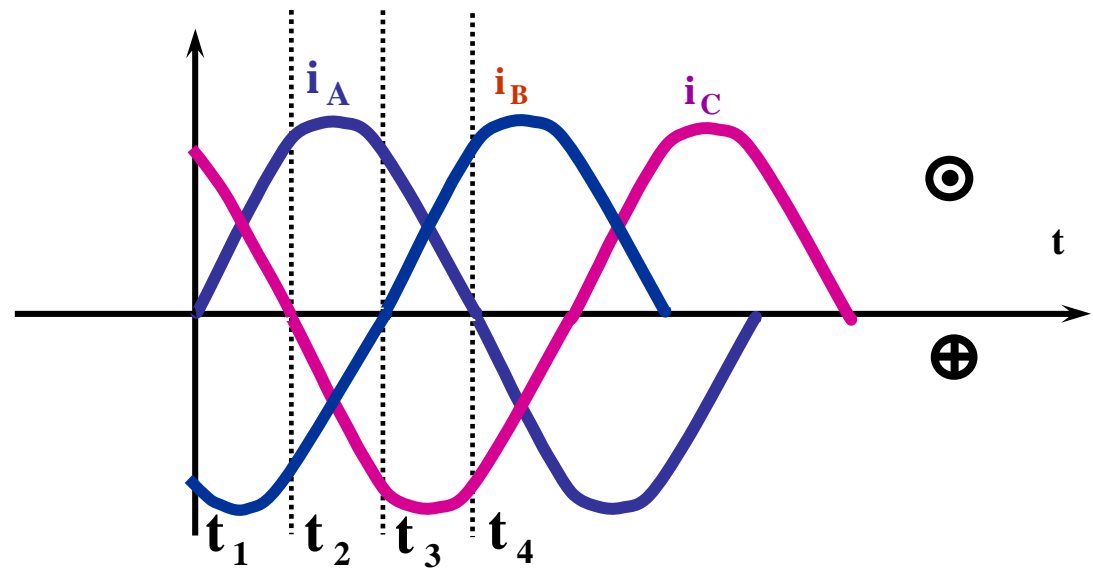
$t = t_2$



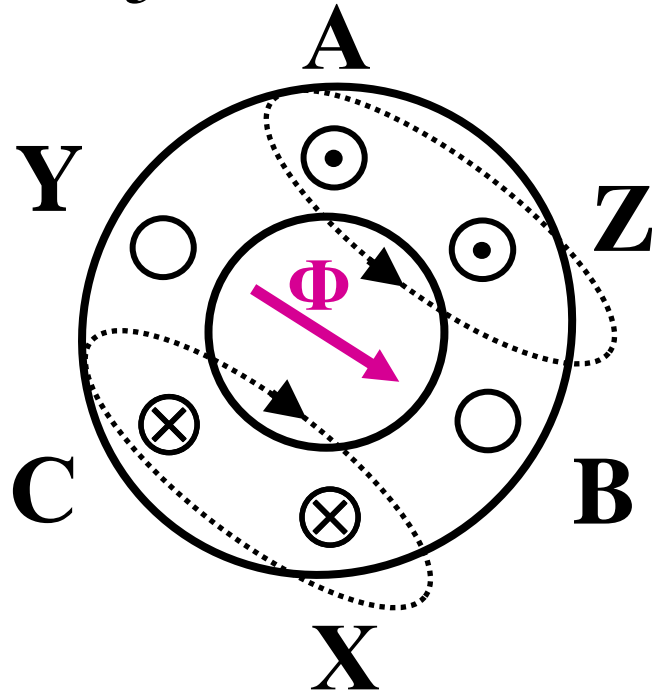
$$i_A > 0,$$

$$i_B < 0,$$

$$i_C = 0$$



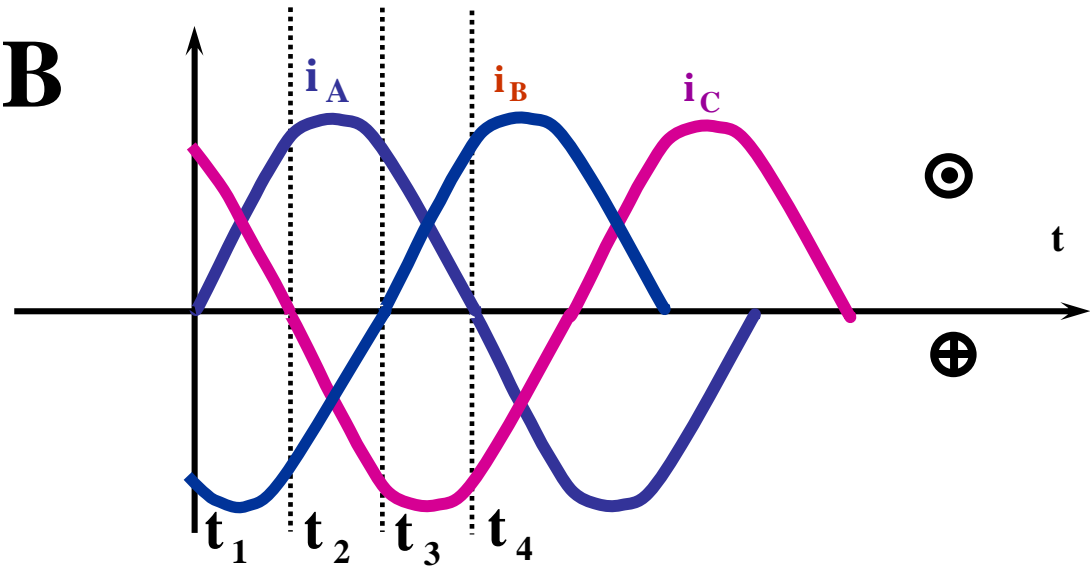
$t = t_3$



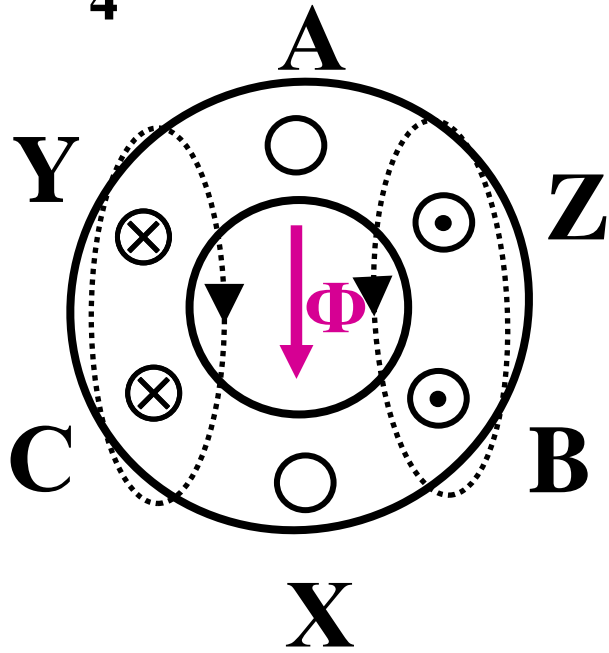
$$i_A > 0,$$

$$i_B = 0,$$

$$i_C < 0$$



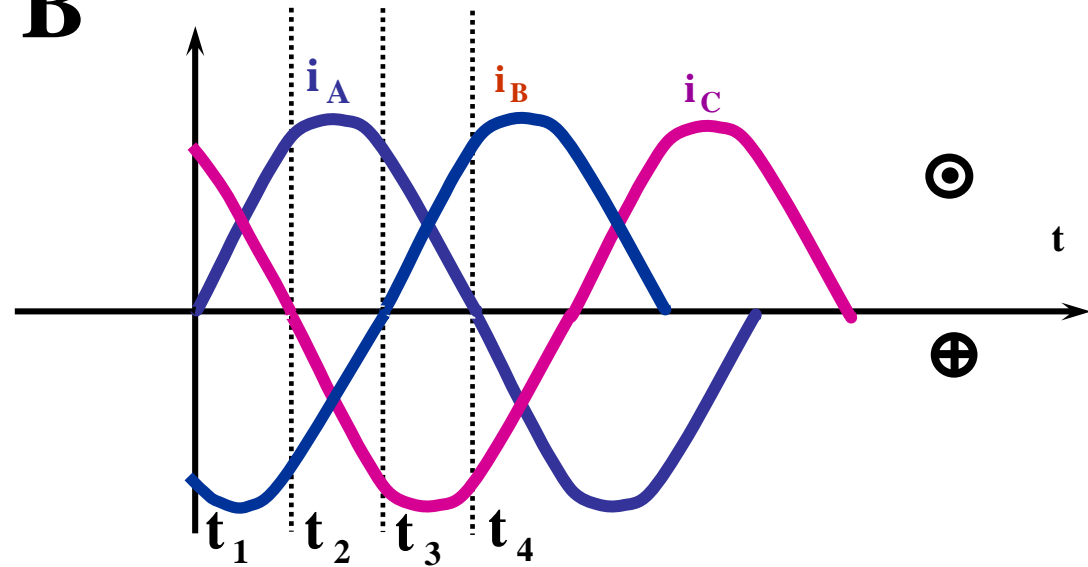
$t = t_4$



$$i_A = 0,$$

$$i_B > 0,$$

$$i_C < 0$$



По мере изменения токов результирующий вектор потока совершает равномерное одностороннее вращение вокруг оси машины. Такое поле принято называть вращающимся. Если изменить порядок чередования двух токов в катушках обмотки статора, то результирующее магнитное поле будет вращаться в другую сторону.

Поле поворачивается в сторону фазы с отстающим током.

**Основное условие создания такого поля –
пространственный и временной сдвиг.**

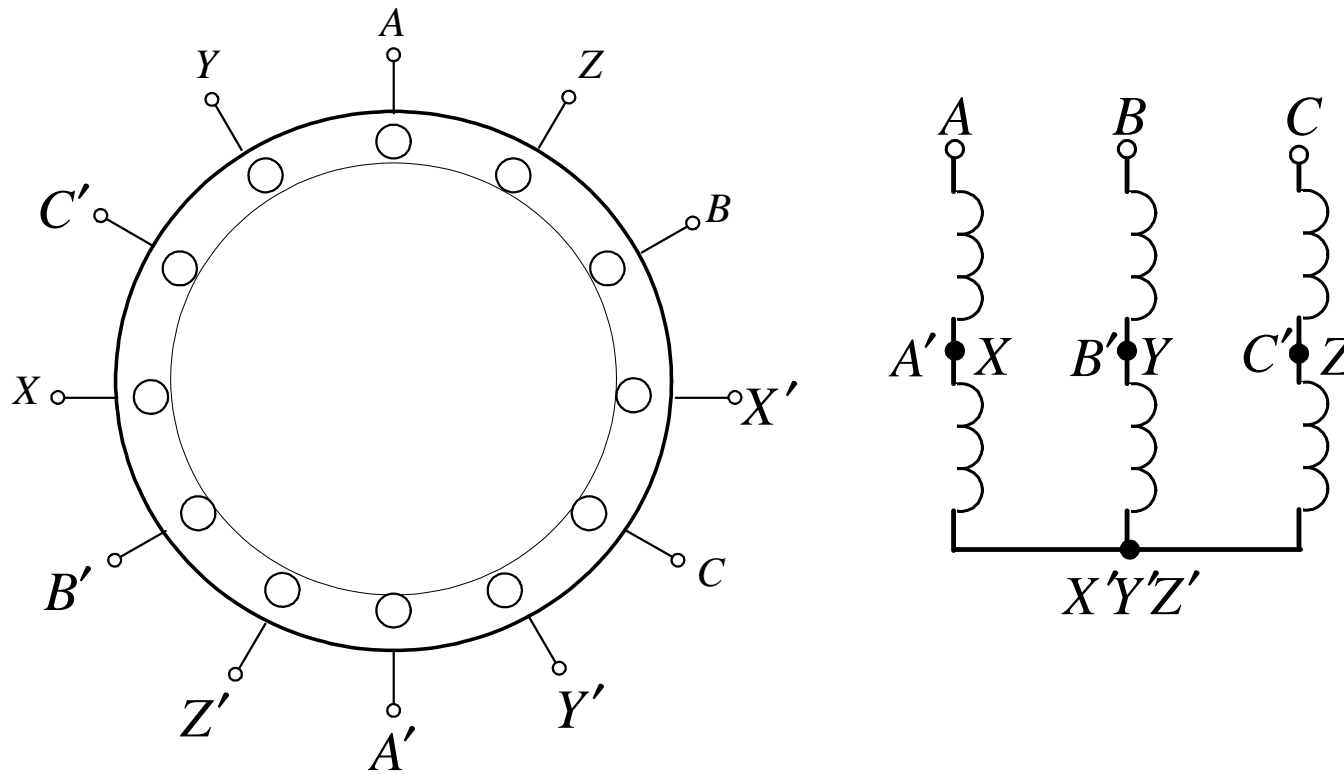
За период направление суммарного магнитного поля сделает один оборот. Обмотка статора создаст магнитное поле с одной парой полюсов ($p=1$).

При стандартной частоте переменного тока $f=50$ Гц частота вращения магнитного поля статора двухполюсной машины

$$n_1 = 50 \cdot 60 = 3000 \text{ об / мин}$$



Изменив обмотку статора, можно получить вращающееся магнитное поле с несколькими парами полюсов. Если каждая фаза будет состоять из двух катушек, то магнитное поле будет иметь 2 пары полюсов ($p=2$)



В этом случае частота вращения поля будет в 2 раза меньше, чем для $p=1$.

Число пар полюсов можно сделать любым, при этом частота вращения магнитного поля будет определяться по формуле:

$$n_1 = \frac{60f}{p}, \text{ об / мин}$$



Частоты вращения магнитного поля

p	1	2	3	4	5
n₁	3000	1500	1000	750	600



Режимы работы трехфазной асинхронной машины

Режим двигателя: на обмотку статора подается симметричная система токов и в машине создается вращающееся магнитное поле (ВМП) с частотой вращения n_1 .

Силовые линии этого поля пересекают обмотку ротора, и в ней по закону электромагнитной индукции наводится ЭДС и так как обмотка ротора замкнута, то по обмотке протекает ток i_2 .



Взаимодействие ВМП и токов ротора создает вращающий момент M_{BR} , увлекающий ротор за ВМП. Ротор приходит во вращение и его установившаяся частота вращения n_2 соответствует равенству M_{BR} тормозному M_T , приложенному к валу от приводимого во вращения механизма и внутренних сил трения. При этом $n_1 > n_2$

Скольжение:
$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

В режиме двигателя $0 < s < 1$

**Двигатель преобразует электрическую
энергию в механическую**

Режим генератора: если на работающем двигателе ротор разогнать с помощью двигателя до частоты $> n_1$ в том же направлении, то машина перейдет в режим генератора и избыток механической мощности преобразуется в электрическую.

В режиме генератора $s < 0$



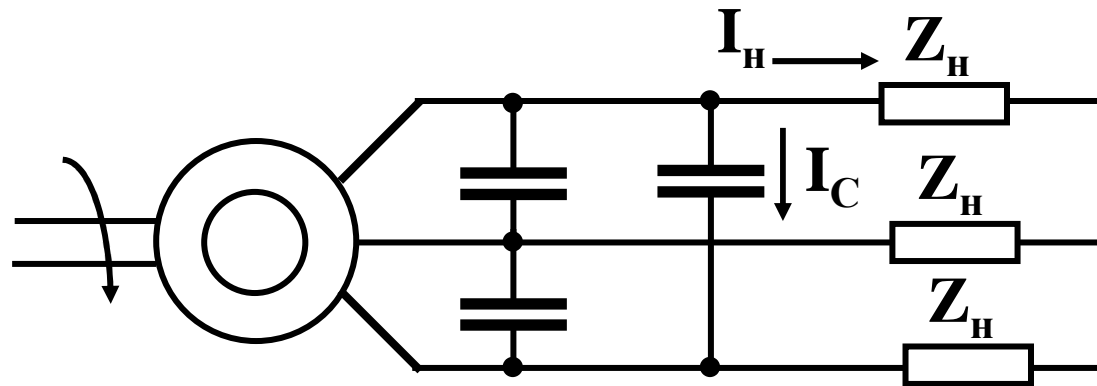
АГ потребляет из сети реактивную мощность, а отдает – активную. АГ не может работать независимо, а работая параллельно на сеть ухудшает коэффициент мощности установки.

Автономная работа АГ

При вращении ротора в обмотке статора $\Phi_{\text{ост}}$ индуцирует $E_{\text{ост}}$, которая создает в конденсаторах ток I_C , который протекая по обмотке статора усиливает его Φ .



ЭДС увеличивается $E_{\Gamma} = U_{\Gamma}$ и токи конденсаторов возрастают

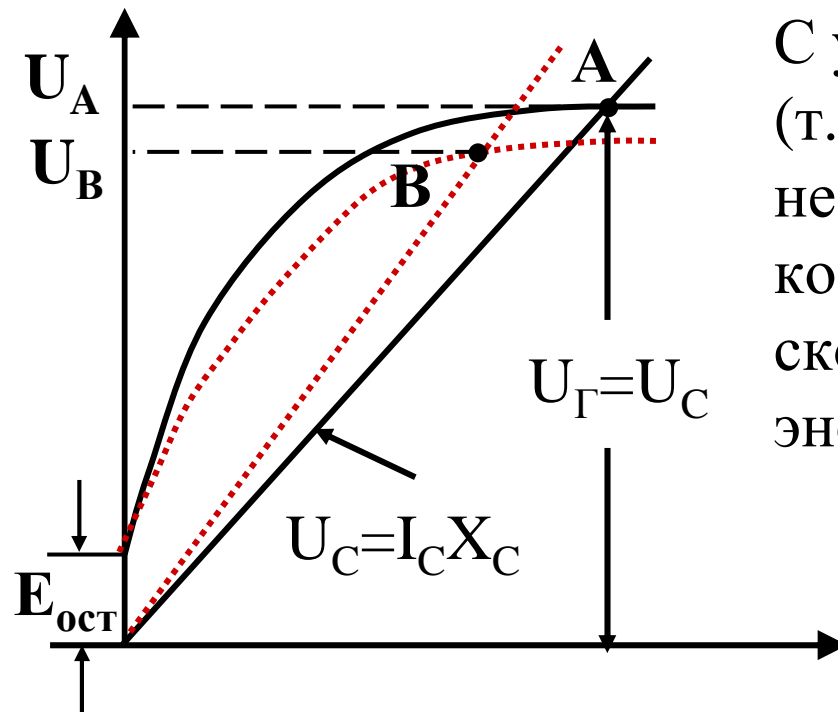


Начало самовозбуждения АГ также можно обеспечить путем разряда на обмотку статора заряженной конденсаторной батареи.

Чтобы I_C обеспечивал подмагничивание АГ необходимо выполнение условия:

$$U_{\Gamma} - U_C > 0$$

Самовозбуждение продолжается пока ВАХ генератора не пересечется с ВАХ конденсатора (т. А)



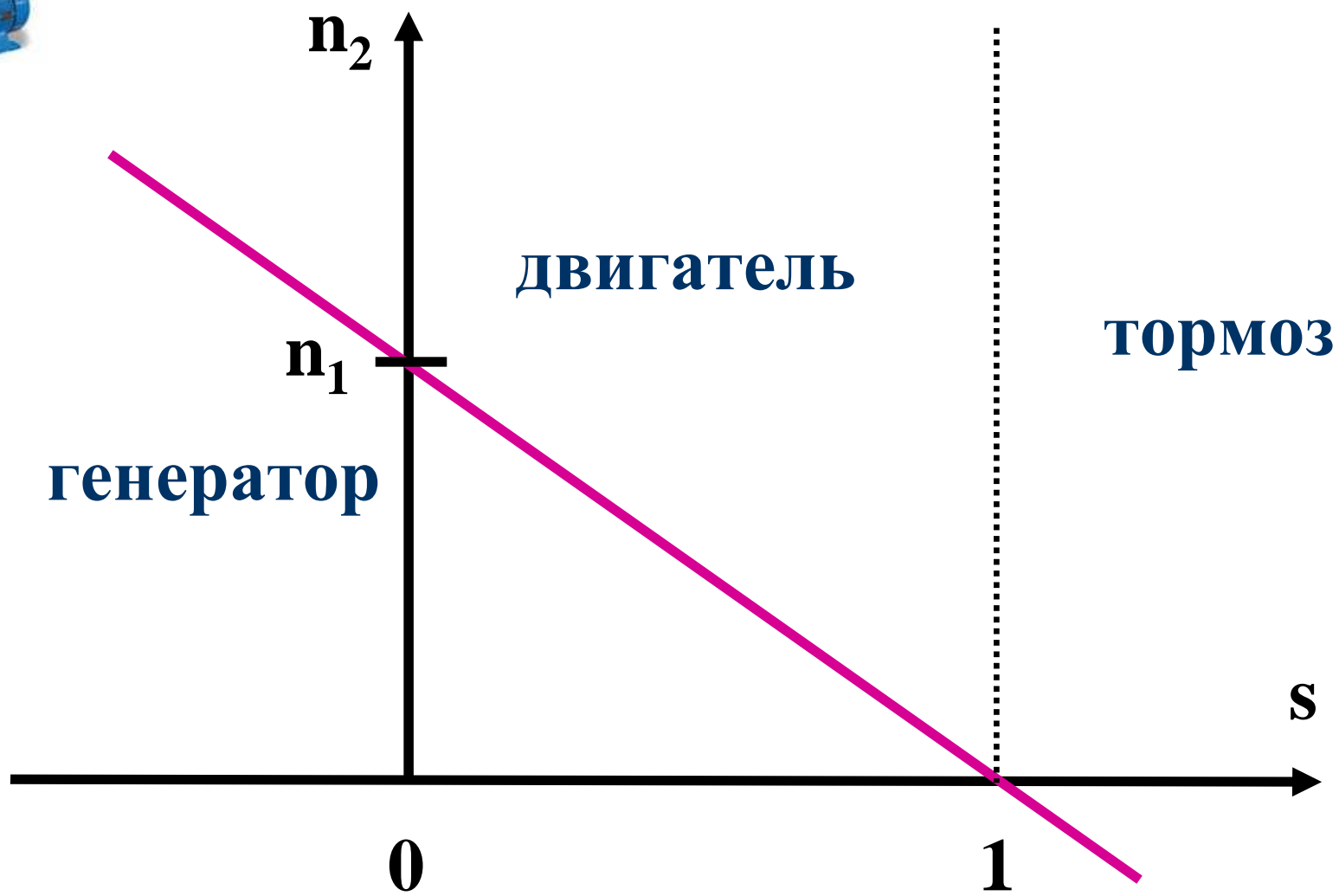
С увеличением нагрузки U падает (т. В). Для его стабилизации необходимо увеличивать емкость конденсаторов, чтобы скомпенсировать реактивную энергию, потребляемую нагрузкой.

Ёмкость батареи должна превышать некоторое критическое значение C_0 , зависящее от параметров автономного АГ: **только в этом случае происходит самовозбуждение генератора и на обмотках статора устанавливается трёхфазная симметричная система напряжений.**

Мощность генератора, кВ·А	Холостой ход		Полная нагрузка			
	C, мкФ	реактивная мощность, квар	cosφ = 1		cosφ = 0,8	
			C, мкФ	реактивная мощность, квар	C, мкФ	реактивная мощность, квар
2,0	28	1,27	36	1,63	60	2,72
3,5	45	2,04	56	2,54	100	4,53
5,0	60	2,72	75	3,40	138	6,25
7,0	74	3,36	98	4,44	182	8,25
10,0	92	4,18	130	5,90	245	11,1
15,0	120	5,44	172	7,80	342	15,5

Режим электромагнитного тормоза: ($s > 1$) ротор вращается против вращения поля статора. Это возможно при реверсе (поле поменяло направление вращения, а ротор все еще вращается в противоположном направлении), если $M_T > M_{BR}$. Применяется для быстрой остановки двигателя, для торможения приводного механизма (крановые и подъемные устройства при спуске грузов)

Особенностью а. м. является наличие скольжения. Только при этом условии в проводниках ротора индуцируется ЭДС и возникает момент.



Уравнения электрического состояния

ЭДС обмотки статора наводится вращающимся магнитным потоком. По аналогии с трансформатором

$$E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f \cdot \Phi,$$

$k_{об1}$ (0.92-0.98) - обмоточный коэффициент, определяемый способом укладки обмоток (петлевая или волновая)



Уравнение электрического состояния фазы статора

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \cdot jX_{\sigma 1} + \dot{I}_1 \cdot R_1$$

\dot{U}_1 — напряжение сети;

R_1 — активное сопротивление проводников фазы;

$X_{\sigma 1} = \omega L_1$ — индуктивное сопротивление рассеяния;

$\omega = 2\pi f$ — угловая частота тока статора



Полное сопротивление обмотки статора:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_{\sigma 1}$$

ЭДС, индуцируемая в обмотке **неподвижного**
ротора

$$E_{2H} = 4,44 \cdot w_2 \cdot k_{об2} \cdot f \cdot \Phi,$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} \Rightarrow f = \frac{pn_1}{60}$$



Во время работы двигателя ротор вращается вслед за полем, что вызывает изменение частоты индуцируемой в нем ЭДС

Так как поле пересекает ротор, потому, что он отстает от поля, то частота ЭДС, индуцируемой в роторе

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)n_1}{60n_1} = f \cdot s$$

ЭДС вращающегося ротора

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot k_{об2} \cdot f \cdot s \cdot \Phi = E_{2H} S$$

При пуске $s=1$

$$E_2 = (0.02 \div 0.08) E_{2H}$$

Эта ЭДС создает в каждой фазе ротора ток

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{\sigma 2})^2}} = \frac{E_{2H} \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{\sigma 2})^2}}$$

R_2 — активное сопротивление фазы

$X_{\sigma 2}$ — индуктивное сопротивление



Ток I_2 увеличивается с ростом s , вследствие возрастания E_2 , но одновременно увеличивается индуктивное сопротивление ротора. Поэтому ток I_2 возрастает далеко не в такой мере, в какой увеличивается E_2 .

Так, если при номинальной нагрузке $s=0.02$, то при пуске, когда $s=1$ ЭДС возрастает по сравнению с рабочими условиями в 50 раз; но ток при пуске больше номинального только в 6.5 раз. Это дает возможность пускать двигатель путем простого включения рубильника.

Под ХХ АД понимается его работа без нагрузки на валу. Из-за механических потерь $s=(1-2)\%$.

Если принять потери, равными нулю, то $n_1=n_2$ и $s=0$

Ток в обмотке ротора отсутствует. Такой режим называется **режимом идеального холостого хода**.

Если затормозить двигатель до полной остановки, $n_2=0$ и $s=1$, то такой режим называют **ОПЫТОМ К.З.**