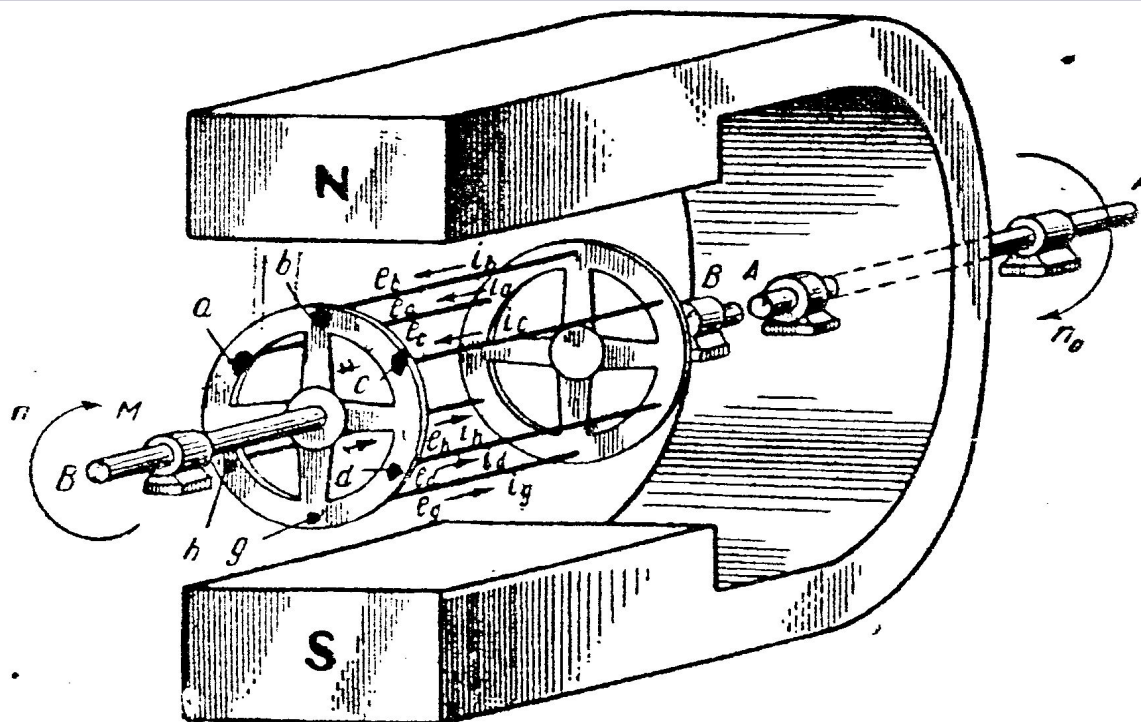


Принцип действия асинхронного двигателя.

Асинхронные двигатели трёхфазного тока нашли наибольшее применение в промышленных установках. В основе устройства этих двигателей лежит явление вращающегося магнитного поля, которое образуется системой неподвижных обмоток, питаемых трёхфазным током.

Принцип действия асинхронного двигателя поясняет следующий рисунок.



Двухполюсный подковообразный магнит вращается с постоянной скоростью n_0 вокруг оси А-А. Между полюсами магнита на оси В-В помещён ротор, выполненный из проводящих стержней по типу беличьего колеса. Линии магнитного поля пересекают стержни a, b, c, \dots, h ротора и

индуцируют в них э.д.с. e_a, e_b, e_c , обуславливающие появление токов i_a, i_b, i_c . Направление индуцированных э.д.с. Определяются по правилу правой руки. Взаимодействие токов с магнитным полем вызывает силы Ампера.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Принцип действия асинхронного двигателя.

■ Направление силы Ампера определяется правилом левой руки. Для ситуации, показанной на рисунке, вектор индукции направлен от северного полюса к южному. Применяя правило левой руки, убеждаемся, что на верхний проводник действует сила, направленная вправо, на нижний – сила, направленная влево. Таким образом, обе силы создают вращающий момент направленный по часовой стрелке. Под действием этого момента ротор начинает вращаться в направлении перемещения магнитного поля. По мере возрастания скорости ротора уменьшается относительная скорость между стержнями ротора и магнитным полем и, следовательно, уменьшается э.д.с. в стержнях ротора и протекающий в них ток. В связи с этим уменьшаются силы Ампера и вращающий момент. При некоторой скорости момент сил Ампера сравнивается с моментом сопротивления и скорость вращения ротора устанавливается постоянной, но меньшей скорости вращения магнитного поля ($n < n_0$). Степень отставания скорости вращения ротора от скорости вращения поля характеризуется величиной, называемой скольжением.

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad n = n_0(1 - s)$$

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Принцип действия асинхронного двигателя.

При изменении скорости вращения ротора от $n = 0$ до $n = n_0$ скольжение изменяется в пределах от $s = 1$ до $s = 0$.

Таким образом, для работы асинхронного двигателя необходимо создать вращающееся магнитное поле. В асинхронном двигателе вращающееся магнитное поле образуется электрическим путём: неподвижными обмотками, питаемыми трёхфазным током.

Особенностью асинхронных двигателей является то, что скорость вращения ротора всегда меньше скорости вращения магнитного поля. Отсюда и термин «асинхронный двигатель», который означает несинхронность скоростей вращения ротора и магнитного поля.

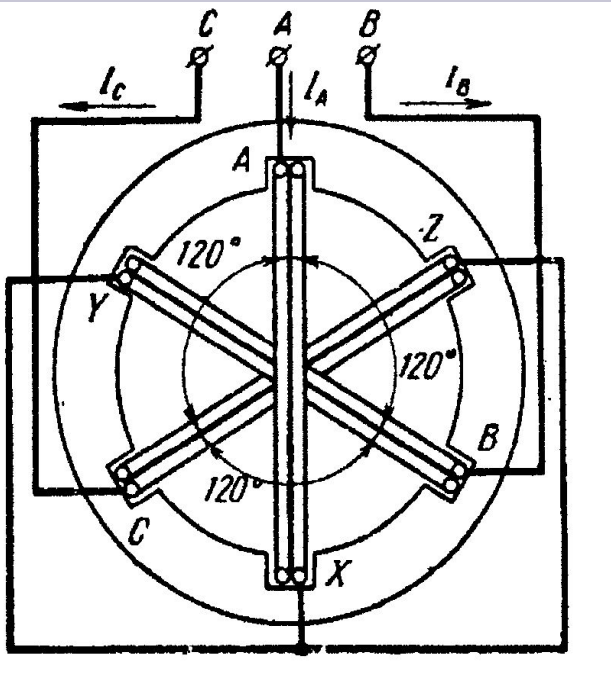
Если бы ротор вращался с синхронной частотой, скорость его вращения относительно магнитного поля была бы равна нулю и э.д.с. в проводниках ротора не возникала бы. Следовательно, отсутствие синхронизма – это основная причина работы двигателя.

Недостатком асинхронного двигателя является зависимость скорости его вращения от нагрузки на валу двигателя.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Вращающееся магнитное поле.

- Рассмотрим схему подключения обмоток асинхронного двигателя к сети трёхфазного тока.



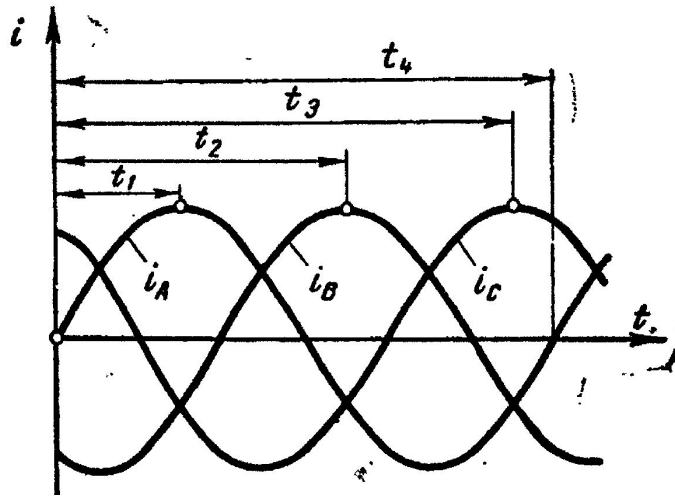
Статор асинхронного двигателя устроен точно так же, как и статор трёхфазного генератора переменного тока. В пазах статора размещены 3 обмотки, оси которых образуют между собой углы равные 120^0 . Концы обмоток соединены между собой, а начала обмоток подключены к 3-м фазным проводам. В обмотках катушек протекают синусоидальные токи I_A , I_B , I_C , взаимно сдвинутые по фазе на треть периода. Каждая из катушек создаёт пульсирующий магнитный поток,

ось которого совпадает с осью катушки.

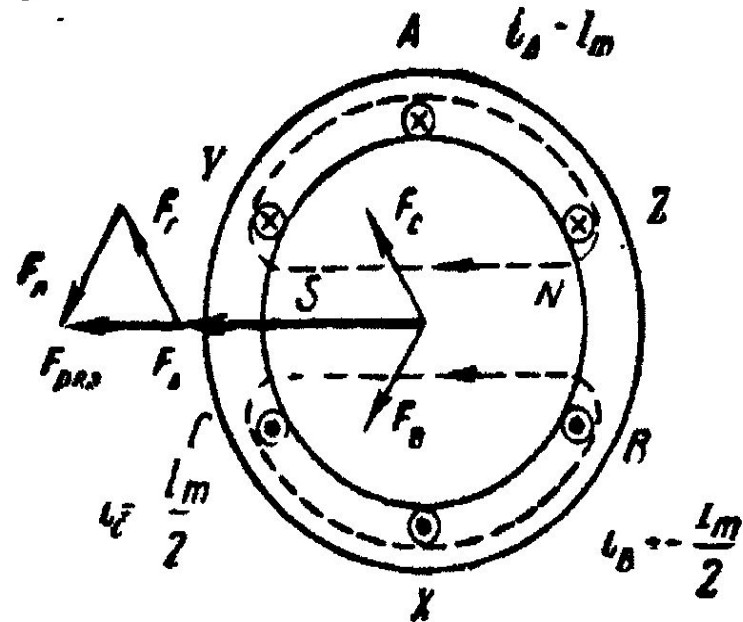
Определим результирующее магнитное поле 3-х катушек в различные моменты времени. Выберем моменты времени t_1 , t_2 , t_3 , соответствующие максимальным значениям токов соответственно в фазах A, B и C. За положительное направление токов примем направление от начала катушек к их концам.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Вращающееся магнитное поле.



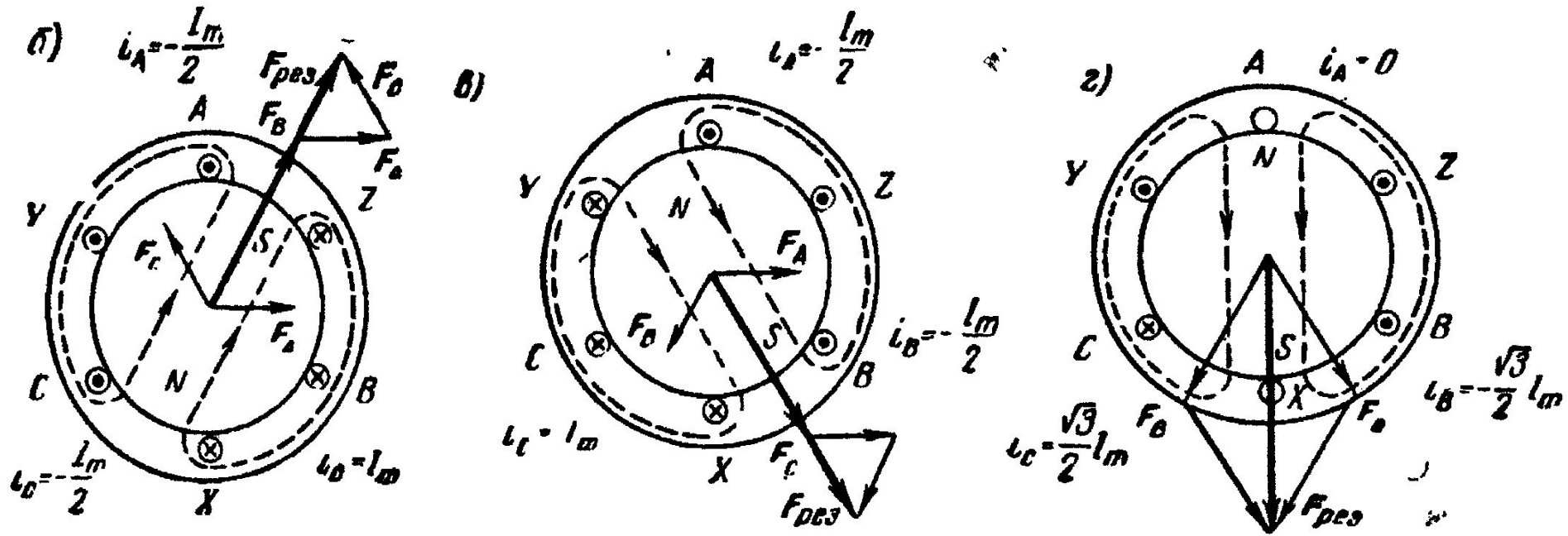
a)



Направление вектора индукции магнитного поля совпадает с осью катушки. В момент времени t_1 ток фазы А имеет максимальное положительное значение. Следовательно, в обмотке этой фазы магнитное поле максимально. Токи в обмотках В и С отрицательны и равны по величине половине амплитуды. На рисунке показаны направления токов в обмотках в момент времени t_1 . Определяя по правилу буравчика направления магнитных полей вокруг каждого проводника, убеждаемся, что магнитные поля совпадают по направлению у трёх верхних и трёх нижних проводников. Построив результирующие линии магнитных полей, получаем направление результирующей индукции справа налево. Следовательно, в момент времени t_1 система обмоток эквивалентна электромагниту, у которого северный полюс справа, а южный – слева.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Вращающееся магнитное поле.



На рисунках показаны результирующие магнитные поля системы обмоток асинхронного двигателя в моменты времени t_2 (рис. б), в момент t_3 (рис. в) и в момент t_4 (рис. г). Такое магнитное поле называется двухполюсным, так как в любой момент времени между обмотками статора имеются два полюса.

Вся цилиндрическая поверхность статора делится поровну между двумя полюсами, которые непрерывно перемещаются в пространстве вдоль цилиндрической поверхности.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Вращающееся магнитное поле.

■ Из проведённого анализа следует:

■ 1. Результирующее двухполюсное магнитное поле совершает один оборот в течение одного периода; скорость вращения $n_0 = 60f_1 = 60 \cdot 50 = 3000$ об/мин.

2. Направление вращения магнитного поля совпадает с порядком следования фаз питающей сети $A \rightarrow B \rightarrow C$.

3. Ось вращающегося поля совпадает с осью той катушки, у которой ток в данный момент времени имеет максимальное значение.

4. Направление вращения магнитного поля можно изменить на противоположное, если поменять порядок следования фаз обмотки, т.е. поменять местами концы любых двух проводов, которыми обмотки подключены к источнику трёхфазного тока.

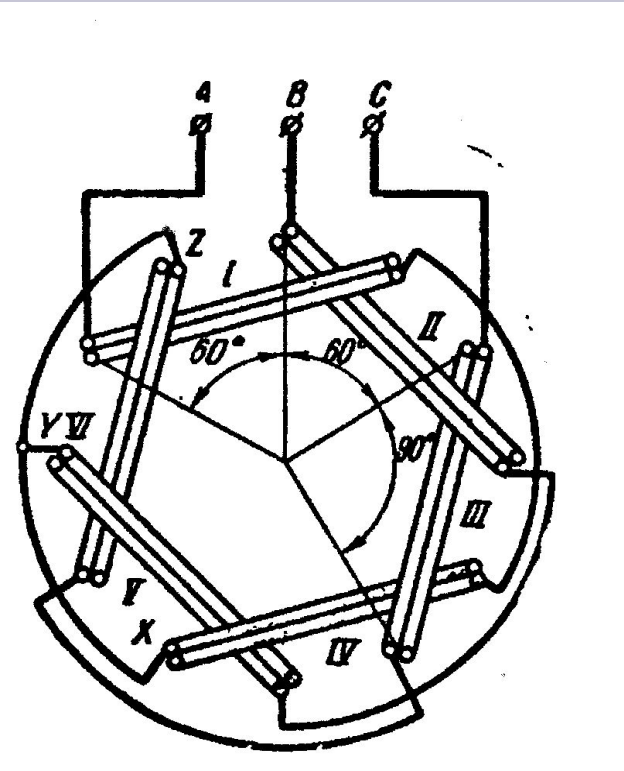
Рассмотренное магнитное поле эквивалентно полю двухполюсного элек-

тромагнита с постоянной намагничивающей силой, вращаемого с неизменной скоростью $n_0 = 3000$ об/мин. Трёхфазная машина, обмотки которой соз-

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Многополюсное магнитное поле.

- Для получения магнитного поля с меньшей скоростью вращения необходимо увеличить число катушек с 3-х до 6, 9, 12 и т. д.



На рисунке показана система, состоящая из 6-ти катушек, в которой I катушка соединена последовательно с IV, катушка II с катушкой V, а катушка III с катушкой VI. В такой системе получается вращающееся магнитное поле с удвоенным числом полюсов ($2p = 4$). Скорость вращения четырёхполюсного поля вдвое меньше чем у двухполюсного.

При использовании 9-ти катушек вращающееся поле будет иметь 6 полюсов, а скорость его вращения будет в 3 раза меньше.

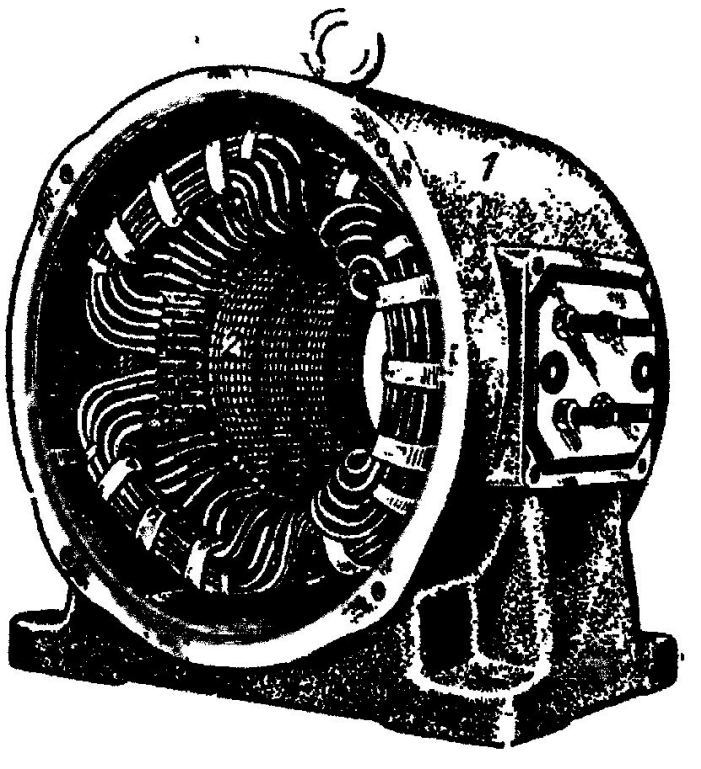
При промышленной частоте 50 Гц скорость вращения поля:

Число пар полюсов p	1	2	3	4	5	6
Скорость вращения магнитного поля n_0 , об/мин	3000	1500	1000	750	600	500

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Устройство асинхронного двигателя.

- Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося ротора.



Статор состоит из чугунного или стального корпуса, внутри которого помещён цилиндр, собранный из штампованных листов электротехнической стали. На внутренней стороне цилиндра имеются пазы, в которых размещена обмотка, питаемая от сети трёхфазного тока и создающая вращающееся магнитное поле.

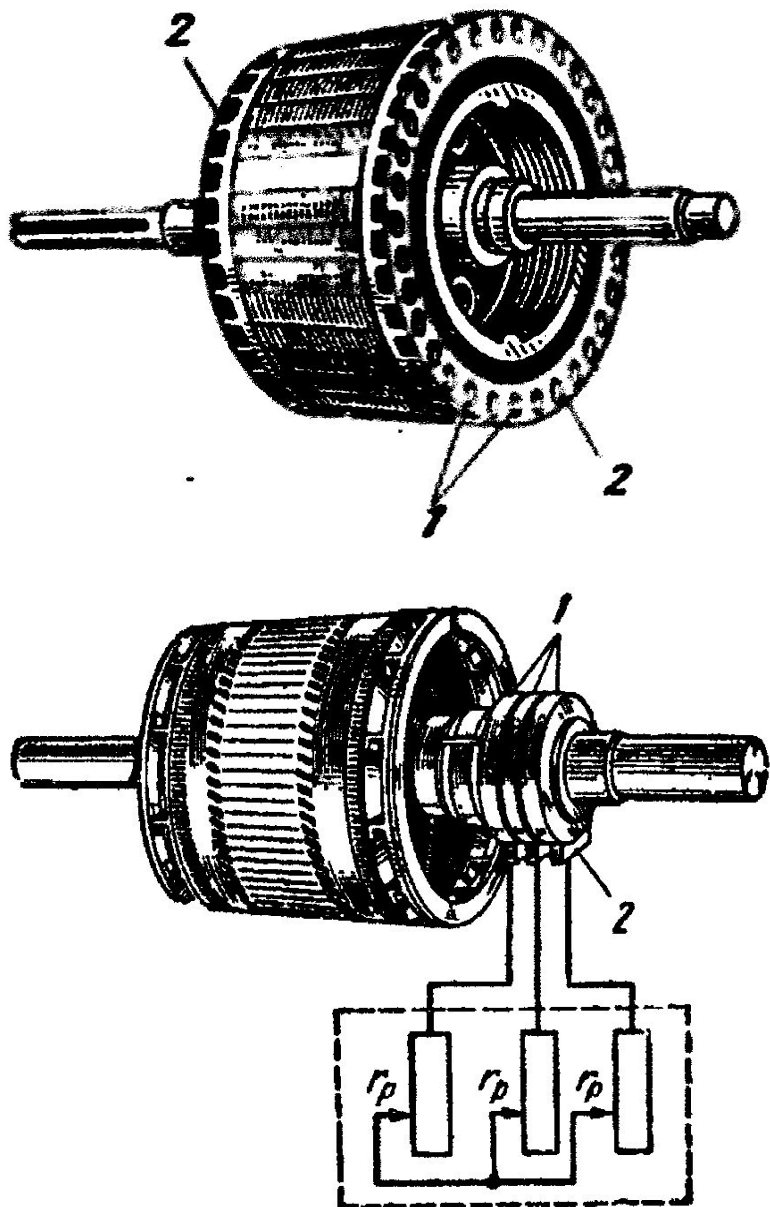
Ротор представляет собой цилиндр, собранный из листов электротехнической стали.

На поверхности ротора имеются пазы, в ко-

торых помещается обмотка ротора. Эта обмотка не имеет электрической связи с питающей сетью, Ток, протекающий в обмотке ротора, является индукционным. В зависимости от типа двигателя разделяются на двигатели с короткозамкнутым ротором и двигатели с фазным ротором.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Устройство асинхронного двигателя.



Обмотка короткозамкнутого ротора выполняется в виде «беличьего колеса»: в пазы ротора уложены стержни 1 из меди или алюминия. Концы этих стержней по торцам соединены кольцами 2, выполненными из того же металла.

Фазный ротор имеет трёхфазную обмотку, аналогичную обмотке статора. Катушки трёх фаз соединяются в звезду. Три свободных конца обмотки ротора присоединяются к трём контактными кольцам 1, размещённым на валу ротора. Кольца изолированы друг от друга и от вала. К контактными кольцам пружинами прижимаются щётки 2, при помощи которых в цепь обмотки ротора включается трёхфазный реостат. Изменением сопротивления реостата регулируется мощность двигателя.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Схемы соединения обмоток двигателя.

■ Катушки многополюсной системы, относящиеся к одной и той же фазе, обычно соединяются последовательно. Поэтому независимо от числа полюсов обмотка статора асинхронного двигателя имеет шесть выводов.

Три фазы обмотки статора включаются в сеть звездой или треугольником. На щитке двигателя обычно указывается два напряжения, например 127/220 В или 220/380. В таблице представлены схемы включения двигателей в зависимости от напряжения питающей сети.

Номинальное напряжение двигателей	Номинальное напряжение сети, В		
	127 В	220 В	380 В
	Схема соединения обмоток статора		
127/220 В	Треугольник	Звезда	-
220/380 В	-	Треугольник	Звезда

При соединении звездой концы статорных обмоток присоединяют обычно с клеммой, соединённой с корпусом двигателя.

Обмотки фазного ротора выполняются аналогично обмоткам статора. Число полюсов обмотки должно соответствовать числу полюсов статора.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Режим холостого хода.

■ Если обмотка ротора разомкнута, то при включении обмотки статора в сеть ротор остаётся неподвижным, так как в разомкнутой обмотке ток не протекает. Частота индуцированной э.д.с. в неподвижной обмотке:

$$f_0 = \frac{p \cdot n_0}{60} = \frac{p \cdot 60}{60 \cdot p} \cdot f_1 = f_1$$

где p – число пар полюсов, f_1 – частота питающей сети.

Т.е. в неподвижной обмотке индуцируется э.д.с. той же частоты, что и в питающей сети.

Действующее значение э.д.с. в обмотке ротора:

$$E = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot w \cdot f_1 \cdot \hat{O}_m$$

При замкнутой обмотке ротора ток в ней будет равен нулю при $n = n_0$. При холостом ходе в обмотке статора протекает ток I_0 , величина которого достигает (20 – 40)% от номинального тока статора. Повышенное значение тока холостого хода обусловлено наличием воздушного зазора между статором и ротором, что увеличивает сопротивление магнитной цепи.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Электродвижущая сила вращающегося ротора.

Частота, индуцированная в обмотке ротора, вращающегося со скоростью n равна:

$$f_2 = \frac{p \cdot n_0}{60} \cdot \frac{n_0 - n}{n_0} = f_1 \cdot s$$

Частота $f_2 < f_1$, поскольку $s < 1$. При значениях скольжения $s = 0,02 - 0,08$, с которыми обычно работают асинхронные двигатели, частота тока в обмотке ротора составляет всего 1 – 4 Гц, в то время как частота питающей сети $f_1 = 50$ Гц.

Величина э.д.с., индуцированная в обмотке вращающегося ротора:

$$E_{2s} = \sqrt{2} \pi \cdot w \cdot f \cdot \hat{O}_m = E_2 \cdot s$$

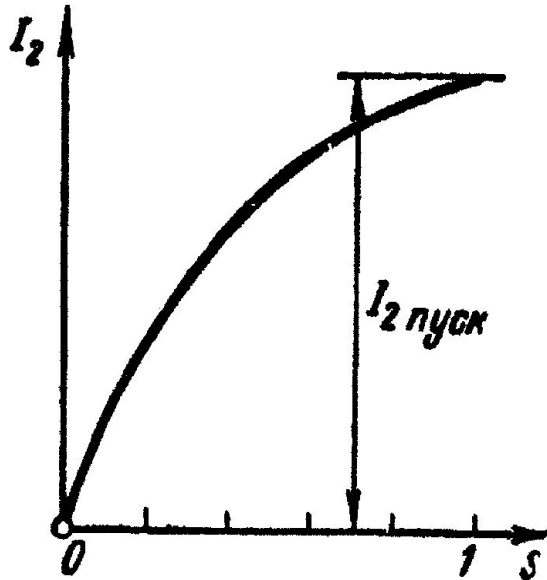
Э.д.с. вращающегося ротора E_{2s} значительно меньше э.д.с. E_2 , индуцируемой в неподвижном роторе. Так, при $s = 0,02 - 0,08$ э.д.с. E_{2s} составляет всего (2 – 8)% от э.д.с. E_2 . Ток в цепи вращающегося ротора зависит от величины скольжения:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{z_2} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}}$$

Здесь r_2 – активное сопротивление, x_2 – индуктивное сопротивление обмотки ротора.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

■ Зависимость тока в обмотке ротора от величины скольжения показана на рисунке.



Наибольший ток в роторной цепи возникает при скольжении $s = 1$, т.е. в момент пуска двигателя когда ротор неподвижен. С увеличением скорости вращения ротора и, следовательно, с уменьшением скольжения s ток в роторе убывает. При идеальном холостом ходе ($s = 0$) ток в цепи ротора падает до нуля. В реальном режиме холостого хода скорость вращения ротора не достигает значения n_0 из-за наличия трения вала ротора в подшипниках и сопротивления воздуха.

При холостом ходе ротора магнитное поле двигателя создаётся только намагничивающей силой обмотки статора:

$$F_0 = \frac{3}{2} I_{0m} w_1$$

В нагрузочном режиме:

$$F = F_1 + F_2 = \frac{3}{2} I_{1m} w_1 + \frac{3}{2} I_{2m} w_2$$

Здесь I_{0m} – амплитуда тока в обмотке статора в режиме холостого хода.

I_{1m} , I_{2m} – амплитуды тока в обмотках статора и ротора при нагрузке.

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Энергетические характеристики асинхронного двигателя.

Баланс активных мощностей асинхронного двигателя можно

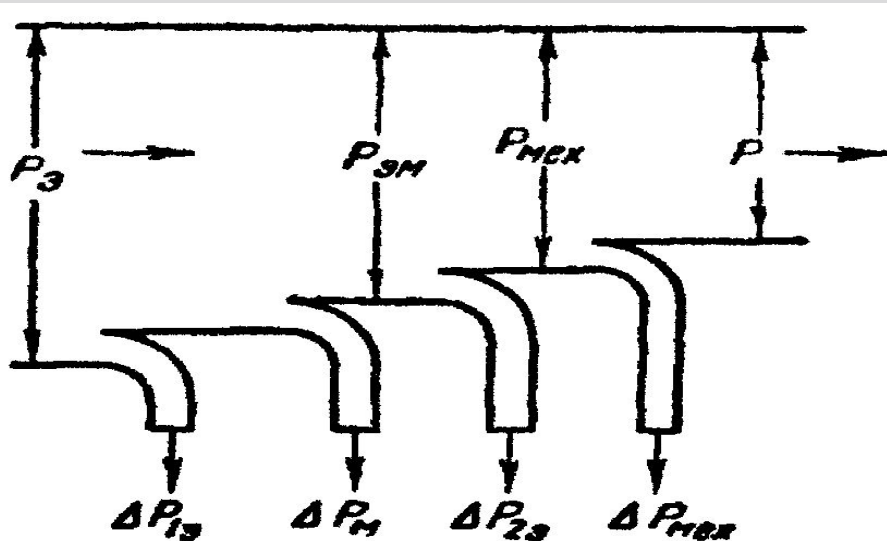
представить следующим уравнением: $P_{\dot{y}} = \Delta P_{1\dot{y}} + \Delta P_m + \Delta P_{2\dot{y}} + P_{i\dot{a}o}$

Здесь $P_{\dot{y}} = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ - мощность, потребляемая двигателем из сети;

$\Delta P_{1\dot{y}} = 3I_1^2 r_1$ - электрические потери в обмотке статора; ΔP_m - магнитные потери в стали статора; $\Delta P_{2\dot{y}} = 3I_2^2 r_2$ - электрические потери в обмотке ротора;

$P_{\text{мех}}$ - полная механическая мощность, развиваемая двигателем.

Наглядно баланс активных мощностей асинхронного двигателя иллюстрируется энергетической диаграммой.



Необходимо помнить, что на щитке двигателя и в паспорте указывается не потребляемая из сети электрическая мощность, а полезная механическая мощность на валу двигателя при номинальном режиме работы.