

Электрические машины переменного тока

Общие сведения. Вращающееся магнитное поле

Электрические машины переменного тока предназначены для взаимного преобразования механической и электрической энергии и по аналогии с электрическими машинами постоянного тока разделяются на генераторы и двигатели. Электрические машины переменного тока разделяются также на асинхронные и синхронные. Электрические машины имеют неподвижную часть — статор и вращающуюся часть — ротор.

Во всех электрических двигателях переменного тока основное назначение статора — создание вращающегося магнитного поля.

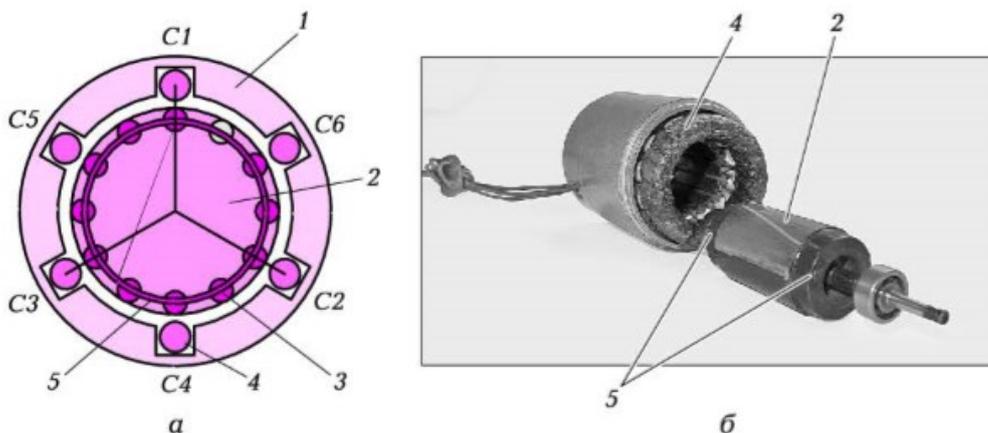
Для создания вращающегося магнитного поля с помощью трехфазной системы токов нужны три катушки, сдвинутые в пространстве на 120° одна относительно другой. Частота вращения поля, называемая *синхронной*, определяется выражением

$$n_1 = 60 f / p$$

При промышленной частоте $f = 50$ Гц и одной паре полюсов ($p = 1$) синхронная частота вращения равна 3 000 об/мин.

Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя

Асинхронный двигатель является самым простым в конструктивном исполнении из всех электрических машин. Он состоит из двух основных узлов: неподвижного статора 1 и вращающегося ротора 2.



Статор выполняется в виде полого цилиндра с пазами на внутренней поверхности. В пазы укладывается обмотка 4 из изолированного провода. Изготавливают статор из тонких штампованных изолированных электрически друг от друга пластин из ферромагнитного материала. Проводники, уложенные в пазах статора равномерно, объединяются либо в три обмотки, оси которых сдвинуты в пространстве на 120°

Ротор асинхронного двигателя, выполняемый в виде сплошного цилиндра также из отдельных ферромагнитных пластин, имеет пазы на внешней поверхности, в которые укладывается обмотка. Обмотка ротора может быть короткозамкнутой или фазной.

Короткозамкнутая обмотка 3 (см. рис. а) выполняется заливкой пазов ферромагнитного ротора 2 алюминием с закорачиванием полученных стержней по торцам кольцами 5. В результате получается так называемое беличье колесо (рис. а).

Фазная обмотка укладывается изолированным проводом в виде трех фаз, соединенных звездой. Подключение обмотки ротора к цепи осуществляется с помощью трех контактных щеток, располагаемых на корпусе и скользящих по кольцам при вращении ротора.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на использовании вращающегося магнитного поля и основных законов электротехники. При включении электродвигателя в сеть трехфазного тока в статоре образуется вращающееся магнитное поле, силовые линии которого пересекают стержни или катушки обмотки ротора. При этом, согласно закону электромагнитной индукции, в обмотке ротора индуцируется ЭДС. Под действием индуцированной ЭДС в короткозамкнутом роторе возникают значительные токи.

На проводники с током, находящиеся в магнитном поле, действуют механические силы, которые создают вращающий момент. Таким образом, возникшие механические силы будут раскручивать ротор в направлении вращения поля. Достичь частоты вращения поля в реальных условиях ротор не может, так как тогда стержни его обмотки оказались бы неподвижными относительно магнитных силовых линий и в обмотке ротора исчезли бы индуцированные токи. Поэтому ротор вращается с частотой, меньшей частоты вращения поля, т.е. асинхронно.

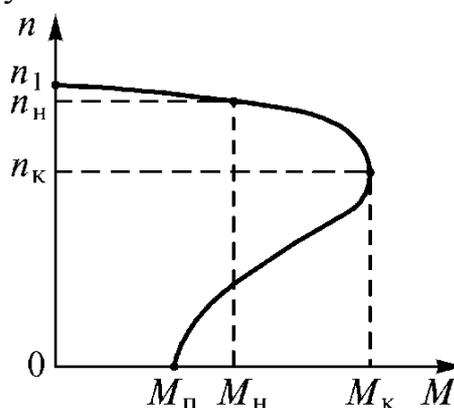
Скольжением называется разность между частотой вращения вращающегося магнитного поля статора n_1 и частотой вращения ротора n_2 .

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

Скольжение зависит от нагрузки двигателя. Скольжение является одной из важнейших характеристик электродвигателя: посредством него выражаются ЭДС и ток ротора, вращающий момент, частота вращения ротора. При неподвижном ($n_2 = 0$) роторе $s = 1$. Таким скольжением обладает электродвигатель в момент пуска.

Механическая характеристика АД

Механической характеристикой двигателя называется зависимость частоты вращения его ротора от нагрузки на его валу $n = f(M_n)$. Вид механической характеристики показан на рисунке



Она имеет ряд характерных точек и определяет область устойчивой и неустойчивой работы двигателя: точка $(0; n_1)$ — идеальный холостой ход; $(M_k; n_k)$ — критическая частота вращения; $(M_n; 0)$ — пусковой момент.

Характеристика делится на две области: 1 – ($n_1 - n_k$) – область устойчивой работы, в ней находится точка номинального режима ($M_H; n_H$); 2 – ($n_k - 0$) – Область неустойчивого режима, используемая при пуске или вынужденной остановке. На эту характеристику влияет изменение напряжения сети и сопротивление в цепи ротора.

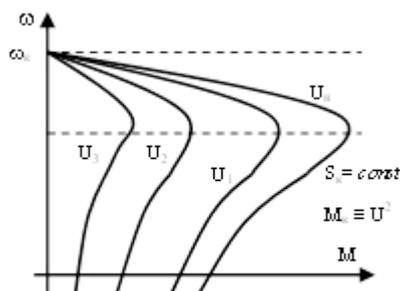
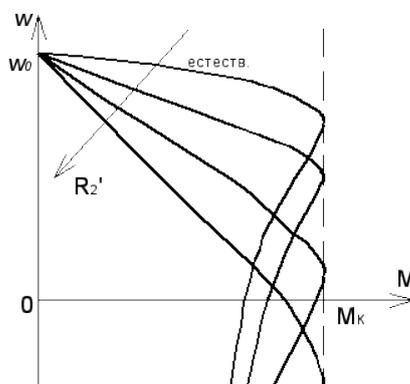


Рис. 4.8 Влияние напряжения сети на характеристики двигателя

Помимо естественной характеристики для двигателя с фазным ротором могут быть получены искусственные механические характеристики. Для этого в цепь ротора включают $R_{доб}$, чем больше $R_{доб}$, тем «мягче» становится механическая характеристика

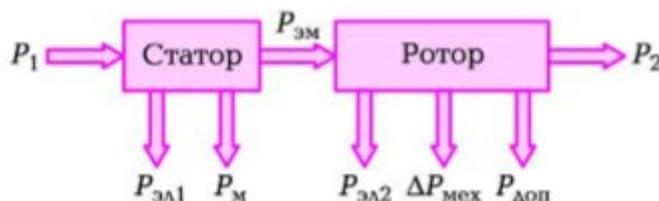


Можно подобрать такое $R_{доб}$, чтобы пусковой момент приобрел максимальное значение

Потери в асинхронной машине. Энергетическая диаграмма

В электрических машинах с вращающимся ротором наряду с электрическими и магнитными потерями появляются механические потери.

Они вызваны в первую очередь трением в подшипниках и сопротивлением воздуха. Это существенно снижает КПД электрических машин, в том числе и асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма показана на рисунке



Энергетическая диаграмма поясняет преобразования подводимой к статору электрической мощности P_1 . Часть ее тратится на электрические потери в обмотке статора $P_{эл1}$. Оставшаяся часть преобразуется в мощность вращающегося магнитного поля. Но при этом сразу же возникают потери в стали статора — магнитные потери P_m . Электромагнитная мощность $P_{эм}$ передается через воздушный зазор со статора на ротор. В роторе возникают электрические потери $P_{эл2}$. Оставшаяся мощность $P_{эм} - P_{эл2} = P_{мех}$ представляет собой полную механическую мощность, способную

совершать работу. Но как только ротор приходит во вращение, появляются механические потери $\Delta P_{\text{мех}}$ (на трение, вентиляцию).

Кроме того, существуют дополнительные потери $P_{\text{доп}}$, обусловленные отклонением формы магнитного потока от синусоидальной, зубцовыми потерями, определяемыми формой и размерами пазов на внутренней поверхности статора, в которые уложена обмотка, и др.

Оставшаяся мощность P_2 — полезная механическая мощность, способная совершать работу.

Таким образом, суммарные потери в асинхронной машине

$$\sum P = P_{\text{эл1}} + P_{\text{м}} + P_{\text{эл2}} + \Delta P_{\text{мех}} + P_{\text{доп}}$$

В этом случае КПД

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