



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3.3:

«АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ»

I. УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1. Назначение, устройство и принцип работы асинхронных двигателей.**
- 2. Режимы работы асинхронных двигателей.**
- 3. Понятие об однофазном, конденсаторном и двухфазном двигателях переменного тока.**

II. УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ

- 1. Изучить назначение, устройство и принцип действия асинхронных двигателей, их режимы работы.**
- 2. Выработать понятие об однофазном, конденсаторном и двухфазном двигателях переменного тока.**

III. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЕ ЦЕЛИ

- 1. Воспитывать у курсантов стремление к углубленному освоению материала по теме занятия.**
- 2. Воспитывать у обучаемых чувства ответственности при решении задач, стоящих перед Государственной противопожарной службой в области пожарно-профилактической деятельности.**



**КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**



ЛИТЕРАТУРА

Основная:

- 1. Ермуратский П.В., Лычкина Г.П., Минкин Ю.Б. Электротехника и электроника как. Учебник. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 416 с.**

Дополнительная:

- 1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Издательский дом “Академия”, 2003. – 544 с.**



КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

ВАРИАНТ 1:

Вопрос 1: Как обеспечивается выдержка времени в реле постоянного тока?

Вопрос 2: С какими расцепителями изготавливаются автоматические выключатели и какую защиту обеспечивают автоматы при наличии таких расцепителей?

ВАРИАНТ 2:

Вопрос 1: Как обеспечивается исключение вибрации якорей реле переменного тока?.

Вопрос 2: Каково назначение магнитных пускателей и какую защиту обеспечивают они при наличии соответствующих устройств?



Тема 1. НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

Асинхронной машиной называется такая машина переменного тока, у которой частота вращения ротора при данной частоте тока сети отличается от частоты вращения магнитного поля статора и изменяется в зависимости от нагрузки.

Асинхронная машина обратима, т.е. может работать как в режиме двигателя, так и в режиме генератора.

В зависимости от числа фаз обмотки статора асинхронные двигатели (АД) бывают однофазными, двухфазными и трехфазными.

В зависимости от конструкции ротора АД разделяются на двигатели с короткозамкнутым ротором и двигатели с фазным ротором.

Конструкция АД обоих исполнений была разработана в 1890 г. выдающимся русским инженером М.О. Доливо-Добровольским.

Наиболее широкое применение получили трехфазные АД с короткозамкнутым и фазным ротором, благодаря их простоте, дешевизне, высокому КПД и надежности в работе.



А) Основные части конструкции АД.

В конструкции трехфазного АД различают две основные части: неподвижную – статор и вращающуюся – ротор. Они разделены воздушным зазором 0,3-0,35 мм у двигателей 1,5-2,0 кВт и 1,0-1,5 мм у двигателей большей мощности. Статор (рис.1) состоит из станины 1, в которую запрессован сердечник 2, имеющий пазы 3. Сердечник набирается из отдельных изолированных друг от друга листов электротехнической стали.

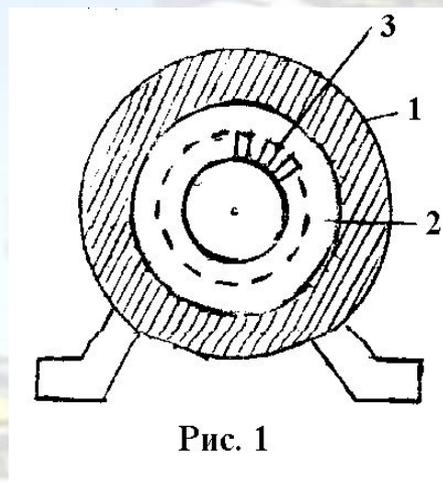


Рис. 1

В отличие от машин постоянного тока станина в асинхронных машинах не является магнитопроводом, поэтому ее выполняют из алюминиевых сплавов и чугуна. Внешняя сторона станины для улучшения поверхности охлаждения часто делается ребристой. В пазы сердечника укладываются три отдельные обмотки, смещенные друг от друга в пространстве на 120 градусов.

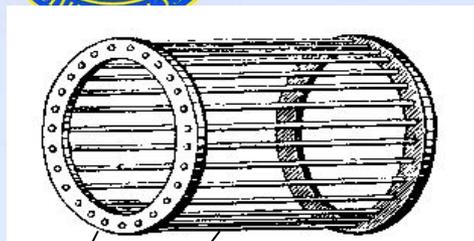


КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Концы обмоток выводятся к зажимам коробки выводов, где обмотки соединяются между собой звездой или треугольником и с внешней сетью. Каждая из трех обмоток называется фазой статора и состоит из одной или нескольких катушек. Число катушек определяет число полюсов обмотки статора. Если обмотка статора состоит из трех катушек (по одной в каждой фазе), то она создает магнитное поле с двумя полюсами, а если из шести катушек – то с четырьмя полюсами и т.д.

Ротор бесколлекторного АД состоит из сердечника, насаженного на вал, и обмотки. В зависимости от устройства обмотки различают ротор короткозамкнутый и фазный ротор. Ротор коллекторного асинхронного двигателя имеет еще и коллектор. Обмотка ротора короткозамкнутых двигателей выполняется из изолированных медных или алюминиевых стержней 1, замкнутых между собой с торцевых сторон металлическими кольцами 2 (рис. 2).



2 1

Такая обмотка называется беличьей клеткой. В настоящее время пазы роторов короткозамкнутых АД мощностью до 100 кВт заливают алюминием под давлением, при этом замыкающие кольца и крылатки для вентиляции образуются в процессе единой отливки.

Рис.2

К станине с обеих сторон крепятся болтами подшипниковые щиты, которые изготавливаются из стали или алюминиевых сплавов, в них располагаются капсулы с подшипниками, обеспечивающими вращение вала ротора.

В пазы сердечника фазного ротора укладывается трехфазная обмотка, соединенная звездой или треугольником, изолированная от сердечника. Выводы обмотки присоединяются к трем медным кольцам, укрепленным на валу. Кольца изолированы друг от друга и от вала. К кольцам прижаты щетки, соединяемые с пусковым или регулировочным реостатом.



Для уменьшения износа щеток и потерь на трение двигателя большой мощности имеют приспособление для подъема щеток и замыкания обмотки ротора накоротко. Если короткозамкнутый ротор

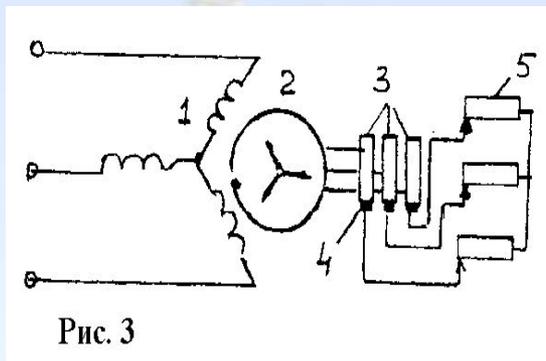


Рис. 3

пригоден для обмотки статора с различным числом катушек (полюсов), то фазный ротор должен иметь такую же трехфазную обмотку, какая уложена в статоре. Электрическая схема АД с фазным ротором показана на рис. 3, где

1 – обмотка статора, 2 – ротор, 3 – кольца, 4 – щетки, 5 – реостат.

Б). Принцип действия АД.

Он состоит в следующем. Трехфазный ток, проходя по трем катушкам статора, сдвинутым в пространстве на угол 120° , образует вращающееся магнитное поле. Оно пересекает обмотку ротора и индуцирует в ней ЭДС.



Т.к. обмотка ротора замкнута, то в ней под действием ЭДС появляется ток. Вследствие взаимодействия тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным полем статора создается вращающий момент, под влиянием которого ротор вращается в сторону вращения поля с частотой n_2 , которая всегда меньше частоты вращающегося поля n_1 , т.к. лишь в этом случае возможно пересечение обмотки ротора вращающимся полем статора и появление в обмотке ротора ЭДС и тока. Это и обусловило название двигателя – асинхронный.

В) Скольжение АД.

Частота вращения магнитного поля статора определяется частотой тока сети f_1 и числом пар полюсов асинхронного двигателя в

соответствии с формулой

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (\text{об/мин}),$$

где p – число пар полюсов статора.

Частота вращения магнитного поля статора n_1 называется синхронной, направление вращения поля статора определяется чередованием фаз статора.



Для изменения направления вращения магнитного поля статора, надо поменять местами два любых провода из трех идущих от сети к обмоткам статора.

Найдем частоту вращения поля статора n_1 относительно ротора n_2 .

Эта величина равна

$$n' = n_1 - n_2.$$

Отношение n'/n_1 , выраженное в долях единицы или в процентах, называется скольжением и обозначается буквой s , т.е.

$$s = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (1) \quad \text{или} \quad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$$

При увеличении частоты вращения ротора от нуля до синхронной скольжение изменяется от 1 до 0. При номинальной нагрузке у современных АД $s_n = 3 - 6\%$. Частота вращения ротора из формулы (1) равна

$$n_2 = (1 - s)n_1 = (1 - s) \frac{60 f_1}{p}, \quad \text{где } s - \text{ в долях единицы.}$$



С изменением n_2 изменяется s и частота ЭДС и тока в обмотке ротора, что видно из формулы

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} = \frac{pn_1}{60} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 \cdot s.$$

Г) ЭДС обмоток статора и ротора АД.

Магнитный поток статора, вращаясь в пространстве с синхронной частотой n_1 и пересекая обмотки статора и ротора, индуцирует в каждой фазе статора ЭДС

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_1 \cdot K_1 \cdot \Phi_1 \quad \text{и ротора}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot W_2 \cdot K_2 \cdot \Phi_1, \quad \text{где } K_1 \text{ и } K_2 - \text{обмоточные}$$

коэффициенты соответственно обмотки статора и ротора ($\approx 0,9$).

Работа АД под нагрузкой. С увеличением нагрузки на валу двигателя момент сопротивления (тормозной момент) станет больше вращающего момента двигателя, и двигатель начнет тормозиться.

При этом s , E_{2s} и I_{2s} начнут возрастать. Ток ротора создает размагничивающий поток Φ_2 , поэтому результирующий поток $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ уменьшится, а это приведет к уменьшению E_1 и увеличению I_1 , т. к.

$I_1 = (U_1 - E_1) / Z_1$, где Z_1 - полное сопротивление обмотки статора.



Увеличение I_1 вызовет увеличение Φ_r , поэтому Φ практически останется постоянным, а вращающий момент увеличится за счет увеличения I_1 и станет равным увеличенному моменту сопротивления, и двигатель будет работать при меньшей постоянной частоте вращения и большем токе I_1 .

Потребляемая двигателем мощность:

Номинальный момент вращения M_H : $M_{Hn} = 9550 \cdot P_{2H} / n_{2H} \cos \varphi_H$

Максимальный момент: $M_M = M_M / M_H \cdot M_H$, где M_M / M_H – кратность максимального момента.

Пусковой момент: M_P , где M_P / M_H - кратность пускового момента.

Пусковой ток: $M_n = \frac{M_n \cdot M}{M_H}$, где I_P / I_H – кратность пускового тока.

$$I_P = \frac{I_P}{I_H} \cdot I_H$$

Формула Клосса: $M = \frac{2M_M}{\frac{s}{s_k} + \frac{s}{s}}$, где s_k – критическое скольжение, при

$$M = \frac{2M_M}{\frac{s}{s_k} + \frac{s}{s}}$$

котором электромагнитный момент достигает максимума.



Механической характеристикой двигателя называется зависимость частоты вращения ротора от момента на валу $n_2 = f(M_2)$. Так как момент холостого хода мал, то $M_2 \approx M$ и механическая характеристика представляется зависимостью $n_2 = f(M)$ (рис. 4).

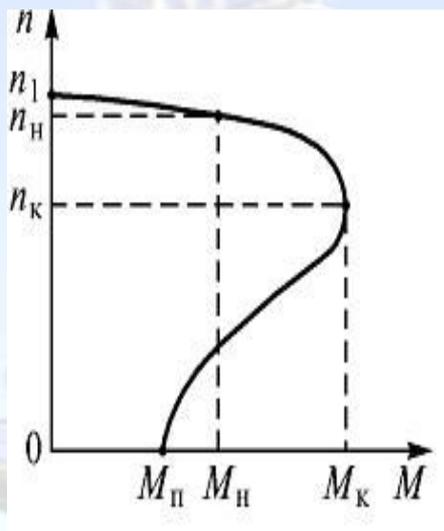


Рис. 4. Механическая х-ка АД.



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



КПД АД определяется по формуле $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1}$, где

P_2 – мощность на валу э/двигателя; P_1 – мощность потребляемая АД из сети; $\Sigma P = P_{cm1} + P_{M1} + P_{M2} + P_p + P_{доб}$;

P_{cm1} – потери в стали статора;

P_{M1} и P_{M2} – потери в меди обмотки статора и обмотки ротора;

P_p – механические потери, обуславливающиеся трением в подшипниках, трением вращающихся частей о воздух, а в АД с фазным ротором еще и трением щеток о контактные кольца;

$P_{доб}$ – добавочные потери, которые обуславливаются явлением вытеснения тока в проводниках обмоток, изменением магнитного потока вследствие зубчатости статора и ротора и др. Точных формул для учета $P_{доб}$ в АД, как и для машин постоянного тока, нет. Согласно ГОСТ для АД эти потери принимаются равными 0,5% от подводимой мощности P_1 при номинальной нагрузке.



Полезная мощность и полезный момент АД связаны следующим соотношением:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{30 \cdot P_2}{\pi \cdot n_2} = \frac{9554 \cdot P_2}{n_2},$$

где M_2 измеряется в [Н·м], а P_2 в [Вт] и n_2 в [об/мин] ($1 \text{ кГц} = 9,80665 \text{ Н}$),
а $\omega_2 = 2\pi \cdot n_2 / 60 = \pi \cdot n_2 / 30$.

Вопрос № 2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.
Холостой ход асинхронного двигателя. Холостым ходом асинхронного двигателя называется такой его режим работы, когда к обмотке статора подводится номинальное напряжение при отсутствии на валу ротора нагрузки (вал ротора не связан с механизмом). При этом, если обмотка ротора будет разомкнута (у двигателя с фазным ротором), то ротор останется неподвижным. Получим режим холостого хода асинхронного двигателя при $n_2 = 0$. Если обмотка ротора замкнута (короткозамкнутый ротор), то ротор начнет вращаться с частотой вращения n_2 меньше n_1 .



Рабочий режим асинхронного двигателя. Рабочим режимом асинхронного двигателя называется такой режим работы, при котором его обмотка статора включается на сеть трехфазного тока с постоянным напряжением U_1 и частотой f , а ротор приводит в движение какой-либо механизм. Сущность физических явлений в двигателе при этом режиме работы такова же, как и в режиме холостого хода с вращающимся ротором. Но поскольку в рабочем режиме механический момент на валу двигателя по сравнению с режимом холостого больше, то частота вращения ротора n_2 уменьшается, скольжение s возрастает, в соответствии с чем возрастает ЭДС E_{2s} и ток в роторе I_2 . Ток I_2 создает свой магнитный поток, который вращается относительно ротора с частотой $n'_2 = n_1 - n_2$. Имея в виду, что сам ротор вращается с частотой n_2 , получим частоту вращения магнитного поля ротора в пространстве

$$n_3 = n'_2 + n_2 = n_1 - n_2 + n_2 = n_1,$$

т.е. магнитное поле ротора вращается в пространстве с той же частотой и в том же направлении, что и поле статора.



При этом, согласно закону Ленца, поток ротора в любой момент времени будет направлен встречно потоку статора. В результате встречного действия потоков статора и ротора образуемый общий основной поток в воздушном зазоре будет меньше основного потока, который имел место при холостом ходе двигателя. Уменьшение основного потока приводит к уменьшению ЭДС E_1 в обмотке статора. Но при $U = const$ уменьшение E_1 приводит к увеличению I_1 , т.к.

$I_1 = (U_1 - E)/Z_1$. При уменьшении механического момента на валу двигателя все происходит наоборот, т.е. скольжение, ток в роторе и ток в статоре уменьшаются, достигая своего наименьшего значения при холостом ходе.

Вопрос № 3. ПОНЯТИЕ ОБ ОДНОФАЗНОМ, КОНДЕНСАТОРНОМ И ДВУХФАЗНОМ ДВИГАТЕЛЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Однофазный асинхронный двигатель. Однофазные асинхронные двигатели отличаются по устройству от короткозамкнутых трехфазных двигателей только тем, что они имеют на статоре однофазную обмотку.



**КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**



Поэтому переменный ток в обмотке статора однофазного асинхронного двигателя создает не вращающееся, а пульсирующее магнитное поле. Пульсирующее поле в обмотке неподвижного ротора создает ЭДС подобно тому, как это имеет место во вторичной обмотке трансформатора. Электромагнитные силы, возникающие в результате взаимодействия поля статора и токов в проводниках ротора оказываются равными и противоположно направленными. Поэтому они не могут создать вращающий момент, т.е. однофазный асинхронный двигатель не имеет вращающего пускового момента. Чтобы однофазный двигатель начал вращаться, необходимо при помощи внешней силы предварительно раскрутить его ротор. После этого он будет вращаться самостоятельно и может приводить в движение какие-либо механизмы. Чтобы при пуске ротор однофазного двигателя предварительно не раскручивать, на его статоре укладывают дополнительную обмотку, сдвинутую в пространстве по отношению к основной обмотке статора на 90° .



Кроме того путем последовательного включения с дополнительной обмоткой конденсатора C добиваются, чтобы токи в основной $ОО$ и дополнительной $ДО$ обмотках были также сдвинуты относительно друг друга на угол, близкий к 90° . В результате этого в однофазном двигателе искусственно создается двухфазное вращающееся поле, под действием которого ротор начинает вращаться. Дополнительная обмотка $ДО$ включается только на период пуска, а потому ее называют пусковой обмоткой однофазного асинхронного двигателя. Электрическая схема такого двигателя представлена на рис.5.

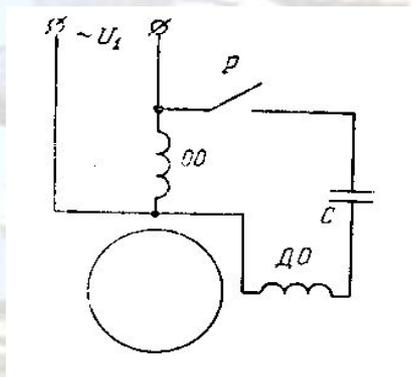


Рис. 5.



Конденсаторные двигатели. Такие двигатели отличаются от однофазных только тем, что у них дополнительная обмотка с конденсатором остается включенной в работу и после пуска. Такой двигатель обладает, наряду с улучшенными пусковыми характеристиками, улучшенными рабочими характеристиками, а именно, большим $\cos \varphi$ по сравнению с обычным однофазным двигателем и большей перегрузочной способностью $K_M = M_M / M_H$.

Двухфазные двигатели. Принцип действия двухфазных асинхронных двигателей основан на использовании вращающегося магнитного поля, создаваемого двухфазным током. Поэтому на статоре его расположены две обмотки, сдвинутые в пространстве на 90° друг относительно друга (рис. 6). Ротор выполняется короткозамкнутым, как у обычного асинхронного двигателя, или в виде тонкостенного цилиндра. Одна из обмоток называется обмоткой возбуждения (на рис. 6 обозначена буквой В). Она подключается на сеть переменного тока. Вторая обмотка называется обмоткой управления (обозначена буквой У).

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1}$$



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

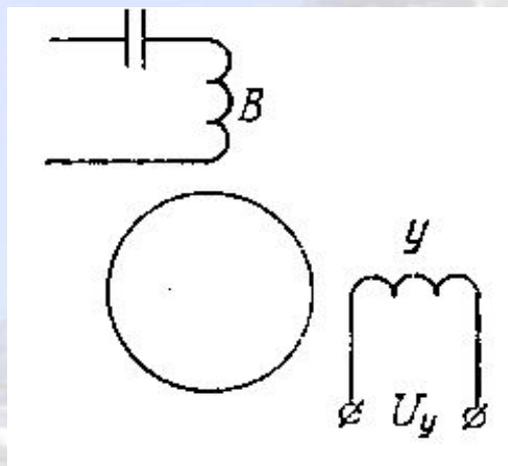


Рис.6 Двухфазный АД.

К ней подводится переменное напряжение, когда требуется привести ротор двигателя во вращение. Известно, что двухфазное вращающееся магнитное поле можно получить только в случае, если во взаимно перпендикулярно расположенных обмотках статора токи будут смещены по фазе во времени на 90° . Для этой цели последовательно с обмоткой возбуждения включают конденсатор С. Изменяя величину U_y , можно регулировать частоту вращения двигателя, а изменяя фазу тока в обмотке Y, можно осуществлять реверс двигателя.



Однофазные и двухфазные асинхронные двигатели нашли применение в схемах автоматики, следящих системах, вычислительной технике и в быту.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить материал практического занятия № 3.3.

2. Изучить по рекомендованной литературе:

- устройства и принцип действия синхронных генераторов и компенсаторов;**
- устройство и принцип действия синхронных двигателей;**
- назначение и классификация электротехнической аппаратуры.**