

# Вопросы к экзамену по электрическим машинам с краткими ответами

## 1 Электрические машины, принцип действия, разновидности.

Электрические машины, составляют основу электроэнергетики, как в процессе производства электроэнергии, так и в процессе её потребления. Они преобразуют механическую энергию в электрическую и наоборот. Работа всех электрических машин базируется на явлении электромагнитной индукции и на силовом действии электрического тока.

Если внешней силой воздействовать на помещенный в магнитное поле проводник и перемещать его, то в проводнике будет наводиться электродвижущая сила.

Если по проводнику, помещённому в магнитное поле, пропустить ток, то на проводник будет действовать электромагнитная сила. Под действием этой силы проводник начнёт двигаться в магнитном поле.

Выделяют следующие виды электрических машин: – трансформаторы; – машины постоянного тока; – машины переменного тока (асинхронные и синхронные).

## 2 Принцип действия генератора постоянного тока

В генераторах происходит преобразование механической энергии в электрическую за счёт электромагнитной индукции. В проводах, движущихся в магнитном поле возникает ЭДС, снимаемая со щёток. Переменная ЭДС витков якорной обмотки выпрямляется коллекторно-щёточным устройством. Чтобы генератор работал в нём надо возбудить магнитное поле. При протекании тока нагрузки по якорной обмотке создаётся тормозящий момент. Преодолевая этот момент, механическая энергия преобразуется в электрическую.

## 3 Принцип действия двигателя постоянного тока

Двигатель преобразует электрическую энергию в механическую.

На проводники с током якорной обмотки в магнитном поле действуют электромагнитные силы, и возникает вращающий момент. При вращении секции якорной обмотки переключаются с помощью коллектора, в них меняется направление тока.

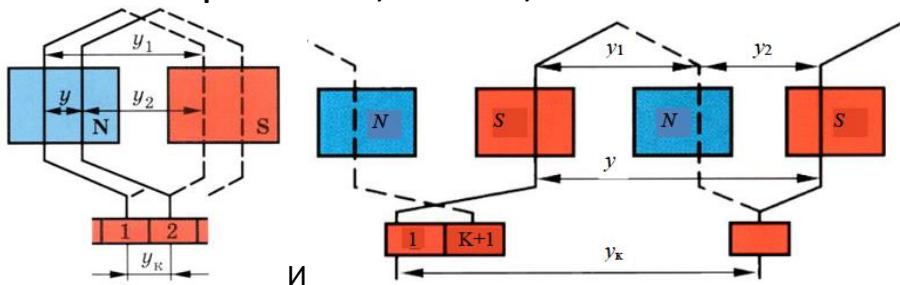
Приложенное к якорю двигателя напряжение  $U$  уравновешивается противоЭДС  $E$ , возникающую в движущихся

проводниках якорной обмотки и падением напряжения на их сопротивлении.

#### 4 Устройство коллекторной машины постоянного тока

МПТ состоит из двух частей: неподвижной – статора и подвижной – ротора. Статор – пустотелый стальной цилиндр, на внутренней поверхности которого располагаются полюсы магнитной системы с обмотками возбуждения. Ротор – сердечник из отдельных листов электротехнической стали, в пазы которого укладывается якорная обмотка, подключаемая к пластинам коллектора, к которым прижаты щётки.

#### 5 Обмотки якоря: петлевая, волновая, сложные



В простой петлевой обмотке начало и конец секции присоединены к рядом расположенным коллекторным пластинам. В волновой обмотке секция по форме напоминает волну.

Волновую последовательную обмотку применяют в электрических машинах больших напряжений, а петлевую параллельную – в машинах больших токов.

Сложные обмотки представляют собой некоторое количество простых обмоток, уложенных на якоре и соединённых параллельно с помощью щёток. Для них требуются уравнители, которые электрически соединяют между собой простые обмотки в точках одинакового потенциала.

#### 6 ЭДС и электромагнитный момент обмотки якоря

В движущихся проводниках якорной обмотки МПТ наводится ЭДС  $E = c_E \cdot n \cdot \Phi$ , которая у генераторов является рабочей, создающей ток в нагрузочной цепи, а у двигателей – противоЭДС, ограничивающей ток в якорной обмотке.

При протекании тока по проводникам якорной обмотки на них действует электромагнитная сила, создающая момент  $M_{\text{эм}} = c_m \cdot I_a \cdot \Phi$ . У двигателей этот момент является вращающим, у генераторов – тормозящим.

## 7 Реакция якоря. Коммутация

Воздействие поля якоря на поле индуктора называется *реакцией якоря*. Она искажает магнитное поле, уменьшает магнитный поток и сдвигает физическую нейтраль с геометрической нейтралью.

*Коммутация* происходит при переключении секции якорной обмотки из одной параллельной ветви на другую при вращении якоря. Реакция якоря вызывает искрение на щётках, для уменьшения которого применяют дополнительные полюсы или сдвиг щёток с геометрической нейтралью.

## 8 Генераторы постоянного тока

У магнитоэлектрических генераторов полюса из постоянных магнитов. Генератор, в котором обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника тока, называют генератором с *независимым возбуждением*. Если напряжение на обмотку возбуждения подается с зажимов якоря того же генератора, то его называют генератором с *самовозбуждением*. Это могут быть генераторы *параллельного* и *смешанного* возбуждения

## 9 Двигатель параллельного возбуждения

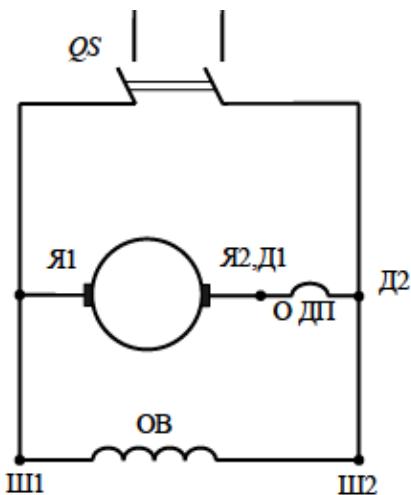
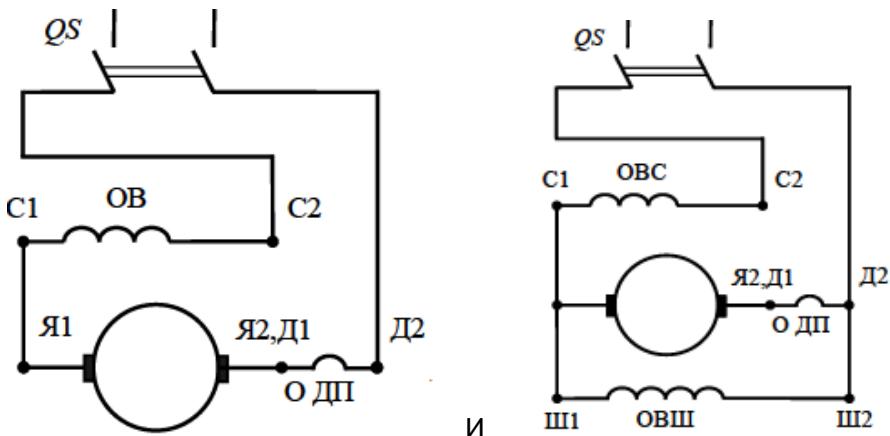


Схема содержит якорную обмотку Я1-Я2, параллельную (шунтовую) обмотку возбуждения ОВ Ш1-Ш2, обмотку дополнительных полюсов ОДП Д1-Д2.

Двигатель имеет жёсткую нагрузочную характеристику.

Для регулировки частоты вращения применяют реостат в цепи возбуждения или изменяют напряжение питания с помощью управляемого выпрямителя.

## 10 Двигатели последовательного и смешанного возбуждения



На схемах якорные обмотки Я1-Я2, параллельная (шунтовая) обмотка возбуждения ОВШ Ш1-Ш2, последовательные (серийные) обмотки возбуждения ОВ (ОВС) С1-С2, обмотки дополнительных полюсов ОДП Д1-Д2.

Двигатель с последовательным возбуждением имеет мягкую гиперболическую нагрузочную характеристику, со смешанным – более жёсткую (промежуточную между характеристиками двигателей параллельного и последовательного возбуждения).

## 11 Пуск, реверсирование и торможение двигателя

При пуске двигателя в ход необходимо обеспечить надлежащий пусковой момент и предотвратить возникновение чрезмерного пускового тока, опасного для двигателя.

Возможны три способа пуска двигателя в ход:

- 1) прямой (применяется для двигателей малой мощности);
- 2) пусковым реостатом, включаемым последовательно в цепь якоря;
- 3) понижением напряжения в цепи якоря.

Для реверсирования требуется изменить полярность или обмотки возбуждения или якоря.

Различают следующие виды электрического торможения: рекуперативное, динамическое, противовключением. При рекуперативном торможении энергия возвращается источнику, при динамическом – рассеивается. Торможение противовключением выполняется путём переключения на обратное направление вращения.

## **12 Назначение, устройство трансформаторов и их применение**

Трансформатор предназначен для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте и мощности. Различают трансформаторы силовые и специальные (измерительные, согласующие, сварочные, автотрансформаторы, импульсные и т. д.).

Трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника) и обмоток. В трансформаторах с масляным охлаждением они помещены в бак, наполненный трансформаторным маслом

На каждой электростанции устанавливают трансформаторы, осуществляющие повышение напряжения для передачи в высоковольтную линию. Во всех узлах распределительных сетей должны быть установлены понижающие трансформаторы.

## **13 Режим холостого хода трансформатора**

При подключении к сети переменного тока первичной обмотки в ней возникает ток, который создает переменный магнитный поток  $\Phi$ . Пронизывающий как первичную, так и вторичную обмотки. Малая часть потока замыкается по воздуху – поток рассеяния  $\Phi_s$ .

Основной поток  $\Phi$  индуцирует в обмотках переменные ЭДС –  $e_1$  и  $e_2$ , пропорциональные, согласно закону электромагнитной индукции, числу витков  $w_1$  и  $w_2$  соответствующей обмотки и скорости изменения потока  $d\Phi/dt$ . Таким образом, мгновенные значения ЭДС, индуцированные в каждой обмотке,  $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$ ;  $e_2 = -w_2 d\Phi/dt$ , при  $k = e_1 / e_2 = w_1 / w_2$ .

При перемагничивании сердечника происходят потери энергии на гистерезис и вихревые токи. Эти потери не зависят от нагрузки.

## **14 Работа трансформатора под нагрузкой**

Если к вторичной обмотке подключить нагрузку, то под воздействием ЭДС  $E_2$  в ней протекает ток  $I_2$ . Этот ток создает магнитный поток вторичной обмотки; он направлен навстречу потоку, создаваемому в сердечнике первичной обмоткой, пытаясь его уменьшить. Это приоткрывает путь току первичной обмотки, который увеличивается, создаваемый им дополнительный магнитный поток полностью скомпенсирует собой поток вторичной обмотки и результирующий поток в сердечнике трансформатора практически не изменится.

Таким образом, в трансформаторе автоматически изменяется величина тока, поступающего из сети в соответствии с изменением нагрузки. При этом  $U_1 \approx E_1$  и  $U_2 \approx E_2$ .

## 15 Приведенный трансформатор. Т-образная схема замещения

Приведение параметров вторичной обмотки к напряжению первичной с помощью коэффициента  $k$  позволяет условно заменить магнитную связь между обмотками на электрическую, а на схеме замещения электрически соединить эти обмотки в форме буквы Т.

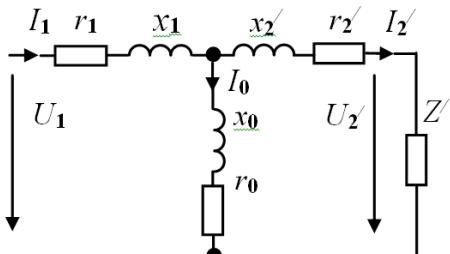
Приведенные параметры обозначаются со штрихом «/».

Т-образная схема замещения приведенного трансформатора содержит:

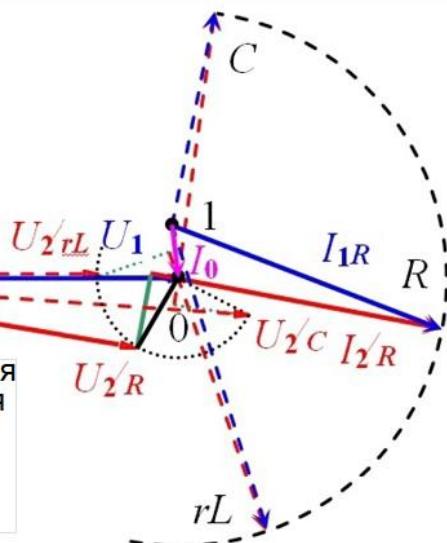
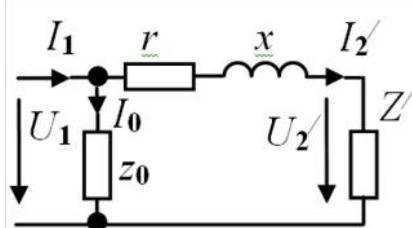
- сопротивления проводов обмоток, первичной  $r_1$  и вторичной  $r_2' = k^2 r_2$ ;

- индуктивные сопротивления первичной  $x_1 = \omega L_{s1}$  и вторичной  $x_2' = k^2 \omega L_{s2}$  обмоток, учитывающие магнитные потоки рассеяния;

- ветвь перемагничивания сердечника  $x_0, r_0$ ,



## 16 Г-образная схема замещения трансформатора. Круговая диаграмма.



Г-образная схема замещения трансформатора и векторная круговая диаграмма токов и напряжений для активной  $r$ , активно-индуктивной  $rL$  и ёмкостной  $C$  нагрузки

На схеме активное сопротивление  $r = r_1 + r_2'$ , а рассеяние магнитного потока – в виде индуктивного сопротивления  $x = x_1 + x_2'$ .

На диаграмме  $I_0 + I_2' = I_{1R}$  (по первому закону Кирхгофа).

$U_2' = U_1 - rI_2' - jxI_2'$  (по второму закону Кирхгофа).

Вектор  $I_2'$  вращается вокруг т.0, по часовой стрелке от  $C$  через  $R$  до  $rL$ . Одновременно по часовой стрелке поворачивается треугольник потерь.

## 17 Опыты холостого хода и короткого замыкания

**Опыт холостого хода** проводится для определения коэффициента трансформации и параметров поперечной намагничивающей ветви Т-образной схемы замещения. Экспериментально коэффициент трансформации можно определить только по результатам измерения напряжений в режиме ХХ. Это объясняется тем, что только при холостом ходе, когда ток  $I_2$  вторичной обмотки отсутствует, напряжение на выходе трансформатора равно ЭДС во вторичной обмотке  $E2$ .

$$k = E_1 / E_2 \approx U_{1H} / U_{20}, r_0 = P_0 / I_0^2, z_0 = U_{1H} / I_0, x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}.$$

Для новых и отремонтированных трансформаторов проводят **опыт короткого замыкания** для определения параметров последовательной ветви Г-образной схемы замещения. В этом опыте, при замкнутых выводах вторичной обмотки, на первичную подают такое пониженное напряжение  $U_K$ , при котором по первичной обмотке трансформатора начинает протекать номинальный ток  $I_{1H}$ .

$$r_K = P_K / I_{1H}^2, z_K = U_K / I_{1H}, x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}.$$

## 18 Изменение вторичного напряжения и внешние характеристики трансформатора

Изменение напряжения равно:

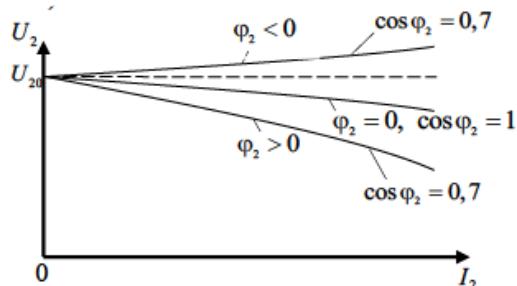
$$\Delta u\% = \left( \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \right) \cdot 100\%.$$

Экспериментальное определение потери напряжения неудобно, поэтому  $\Delta u\%$  определяют на основании анализа векторной диаграммы, соответствующей упрощенной схемы замещения по формуле

$$\Delta u\% = \beta (u_{ka\%} \cos \varphi_2 + u_{kp\%} \sin \varphi_2),$$

где  $\beta$  – коэффициент нагрузки трансформатора равный отношению реального тока вторичной обмотки к номинальному значению тока в ней

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}} \approx \frac{I_1}{I_{1H}}, u_{ka\%} = \frac{I_{1H} r_K}{U_{1H}} \cdot 100\%, u_{kp\%} = \frac{I_{1H} x_K}{U_{1H}} \cdot 100\%.$$



Под внешней характеристикой подразумевается зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформатора  $U_2$  от тока нагрузки  $I_2$ , снятая при неизменном напряжении сети и постоянном коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2$ .

## 19 Потери и КПД трансформатора

При работе трансформатора в нём имеют место магнитные потери  $P_0$ , которые складываются из потерь на *перемагничивание магнитопровода (гистерезис)* и потерь на *вихревые токи*. Также имеют место *электрические потери*  $P_{\text{ки}}$  на нагрев обмоток трансформатора.

КПД трансформатора

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2 + (P_0 + \beta^2 P_{\text{ки}})}$$

где  $\beta$  – коэффициент нагрузки трансформатора  
 $\cos \varphi_2$  – коэффициент мощности.

КПД имеет максимум

$$\text{при } P_0 = P_{\text{ки}} \quad \beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{ки}}}}$$

Для большинства трансформаторов

$\beta_{\text{опт}} = 0,5 \dots 0,7$ .  $\eta_{\text{макс}} = 0,98 \dots 0,99$  для мощных трансформаторов снижается до 0,6 при  $S_{\text{н}}$  до 10 ВА.

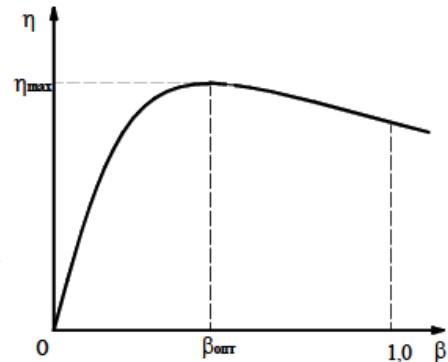


Рисунок 1.15 – Зависимость КПД трансформатора от коэффициента нагрузки при  $\cos \varphi_2 = \text{const}$

## 20 Трёхфазные трансформаторы, группы соединения обмоток.

### Параллельная работа трансформаторов

Сердечник трёхфазного трансформатора состоит из трёх стержней, с двух сторон соединённых ярмом. На каждом стержне уложена секция первичной и вторичной обмоток. Секции первичных обмоток обозначаются  $A-X, B-Y, C-Z$ , секции вторичных – соответственно  $a-x, b-y, c-z$ .

Первичные обмотки соединяются звездой либо треугольником и подключаются к симметричной цепи питающих напряжений. По ним протекают первичные токи  $I_{1A}, I_{1B}$  и  $I_{1C}$ , создающие магнитные потоки в стержнях  $\Phi_A, \Phi_B$  и  $\Phi_C$ , изменяющиеся по синусоидальному закону.

Ко вторичным обмоткам по схемам звездой либо треугольником подключаются нагрузка. Наиболее употребительны схемы:  $Y/Y$ ,  $Y/\Delta$ ,  $\Delta/Y$ .

Для включения трансформаторов на параллельную работу необходимо:

- равенство коэффициентов трансформации,  $k_1 = k_2$ ;
- равенство напряжений короткого замыкания,  $u_{k1} = u_{k2}$ ;
- равенство групп соединения трансформаторов.

Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включаемых на параллельную работу, не превышало 3:1.

## **21 Специальные типы трансформаторов**

У *автотрансформатора* вторичная обмотка является частью первичной; служит он для плавного регулирования вторичного напряжения. Конструктивно он выполняется в виде полого цилиндрического сердечника, навитого из ленты электротехнической стали. На изолированную поверхность цилиндра наматывается первичная обмотка АХ. Движок ЛАТРа выполняется в виде ролика, перемещающегося по виткам обмотки. Так как электромагнитным путём во вторичную обмотку передается только часть всей мощности, можно уменьшить сечение магнитопровода. Это же сокращает среднюю длину витка и количество меди, расходуемой на обмотку.

*Измерительные трансформаторы* используют главным образом для подключения электроизмерительных приборов в цепи переменного тока высокого напряжения. При этом они оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Измерительные трансформаторы дают возможность измерять большие токи и напряжения с помощью приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений. Они рассчитаны для совместной работы со стандартными приборами (амперметрами на 1; 2; 2,5 и 5 А, вольтметрами на 100 и 173 В).

Один из выводов вторичной обмотки измерительного трансформатора должен быть заземлён.

При отключении измерительных приборов от вторичной обмотки трансформатора тока её следует замыкать накоротко.

## **22 Как устроен трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором? В чём особенность двигателя с фазным ротором?**

Двигатель состоит из неподвижной части – статора и подвижной части – ротора. Статор имеет сердечник в виде полого цилиндра из кольцевых пластин электротехнической стали в пазы которого уложена медная обмотка, состоящая из трёх секций. Сердечник ротора также собран из пластин. В его пазах находятся стержни роторной обмотки, по торцам соединённые кольцами (беличья клетка).

В фазном роторе в пазах сердечника ротора находится обмотка из медных проводов, соединённая с контактными кольцами

## **23 Как создаётся вращающееся магнитное поле? Почему ротор вращается?**

При включении обмотки статора в сеть трёхфазного тока возникает вращающееся магнитное поле статора, частота вращения которого  $n_1$  определяется выражением

$$n_1 = f_1 \cdot 60 / p$$

Вращающееся поле статора сцепляется как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора и наводит в них ЭДС. ЭДС ротора создает в стержнях обмотки ротора токи. Магнитное поле статора увлекает за собой ротор, который отстает от него (это называется скольжением  $s$ ) и вращается со скоростью  $n_2 = n_1 \cdot (1 - s)$ .

## 24 Что такое двигательный режим машины? Генераторный режим?

## Режим торможения противовключением?

В соответствии с принципом обратимости электрических машин асинхронные машины могут работать как в двигательном, так и в генераторном режимах. Кроме того, возможен и режим электромагнитного торможения противовключением.

В двигательном режиме ротор следует за магнитным полем статора

$$0 \leq s \leq 1.$$

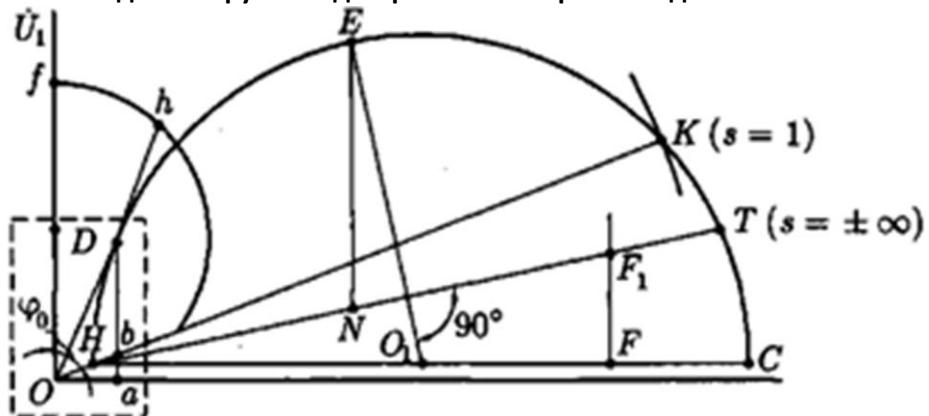
В генераторном режиме ротор обгоняет магнитное поле статора

$$-\infty < \varsigma < 0$$

В режиме торможения противовключением ротор движется напротив движения магнитного поля статора

$$1 \leq s \leq +\infty.$$

## 25 Что видно на круговой диаграмме асинхронного двигателя?

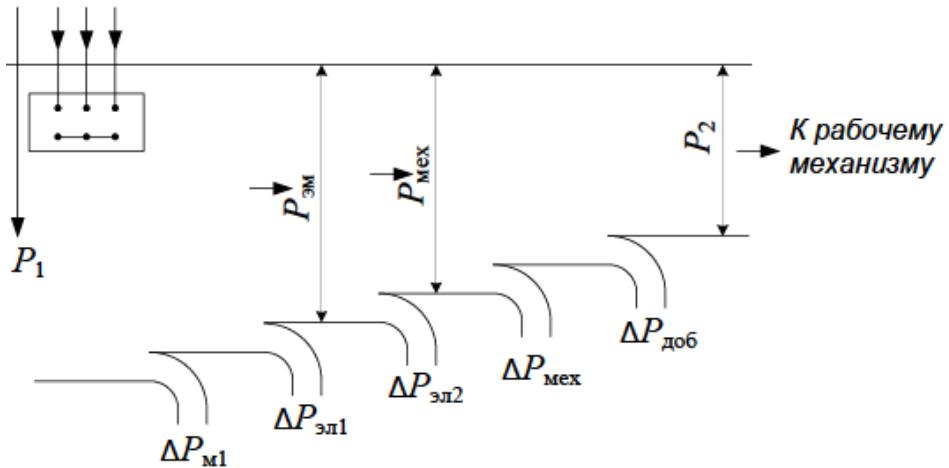


Ток холостого хода  $OH$ ; пусковой ток  $OK$ , Точка  $T$  соответствует скольжению  $s = \pm\infty$  (ротор вращается по часовой стрелке или против неё с бесконечно большой скоростью). Отрезок  $EN$  показывает максимальный момент двигателя. При пуске рабочая точка перемещается из  $K$  по окружности в  $E$  а затем в  $D$ .

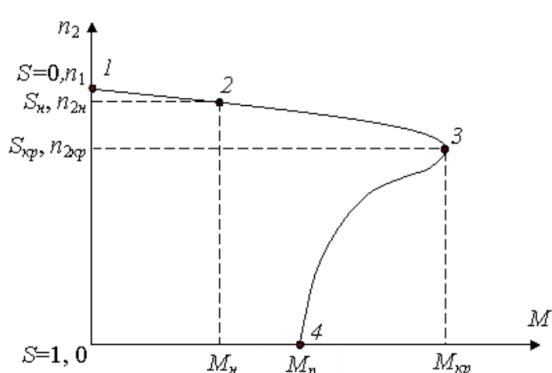
При нагрузке рабочая точка находится на дуге  $DE$

## 26 Что показывает энергетическая диаграмма двигателя?

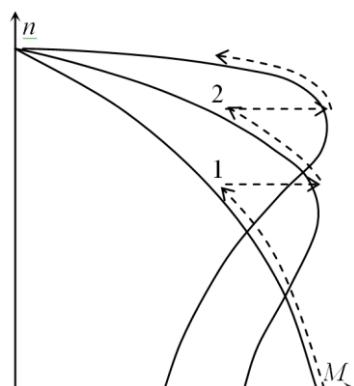
Процесс преобразования электрической энергии  $P_1$  в механическую  $P_2$  сопровождается потерями:  $\Delta P_{\text{м1}}$ ,  $\Delta P_{\text{эл1}}$ ,  $\Delta P_{\text{эл2}}$ ,  $\Delta P_{\text{мех}}$ ,  $\Delta P_{\text{доб}}$ .



## 27 Как выглядит механическая характеристика асинхронного двигателя? В чём особенности механической характеристики двигателя с фазным ротором?



Механическая характеристика АД с КЗР

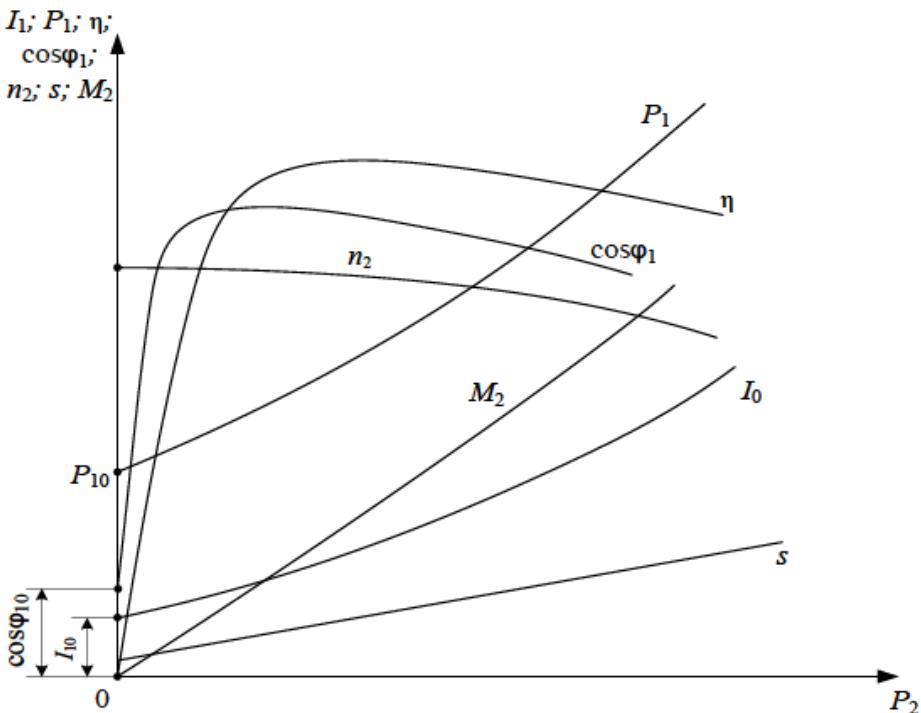


Характеристики АД с ФР

Механическая характеристика имеет максимум момента  $M_{\text{кр}}$ .

У двигателя с фазным ротором несколько механических характеристик в зависимости от включенных пусковых реостатов. Он переходит с 1 характеристики на 2, а затем на короткозамкнутую по мере разгона.

28 Приведите и опишите рабочие характеристики асинхронного двигателя.



29 Как осуществляется пуск в ход асинхронных двигателей? Как осуществляется реверс?

Основными показателями пусковых свойств асинхронных двигателей являются пусковой момент  $M_p$  и пусковой ток  $I_p$ .

Практически используют следующие способы пуска:

- непосредственное подключение обмотки статора к сети (прямой пуск);
- понижение напряжения, подводимого к обмотке статора при пуске: (переключение со «звезды» на «треугольник»; пуск через реактор; пуск через автотрансформатор);
- подключение к обмотке ротора пускового реостата (для фазного ротора);
- частотный пуск. Требуется специальный источник питания с регулируемой частотой.

**Реверс** – это изменение направления вращения ротора. Осуществляется изменением порядка чередования фаз подводимого напряжения с помощью применения двух контакторов и двух кнопок «Пуск»

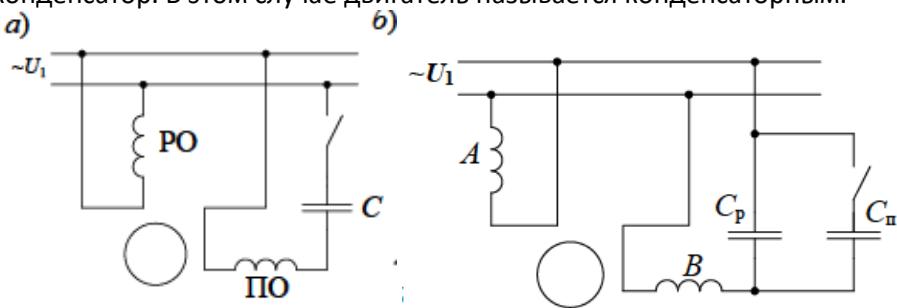
### 30 Как можно регулировать частоту вращения асинхронных двигателей?

Частоту вращения двигателя можно регулировать следующими способами: изменением частоты  $f_1$  питающего напряжения, числа пар полюсов  $p$  и величины скольжения  $s$  и изменения величины питающего напряжения.

- Частотное регулирование требует преобразователя частоты.
- Способ изменения числа пар полюсов статорной обмотки требует особого её устройства.
- Изменение скольжения путём включения в цепь ротора добавочного активного сопротивления применяется в двигателях с фазным ротором.
- Для регулирования частоты вращения за счёт изменения питающего напряжения нужен тиристорный регулятор напряжения

### 31 В чём особенности конструкции и работы однофазных асинхронных двигателей?

У однофазного двигателя две обмотки. Одна из обмоток является рабочей, вторая может быть пусковой и использоваться только во время пуска (рис. a), а может, как и первая, быть рабочей, включенной через конденсатор. В этом случае двигатель называется конденсаторным.



Однофазный двигатель

Конденсаторный двигатель

### 32 Какие вы знаете асинхронные машины специального назначения?

В чём их особенности?

Индукционный регулятор напряжения (поворотный автотрансформатор) и фазорегулятор (поворотный трансформатор).

Машины для двух видов систем синхронной связи: системы «электрического вала» (синхронного вращения) и системы «передачи угла» (синхронного поворота) – сельсины.

Исполнительные двигатели, на статоре которых расположена двухфазная обмотка. Одна из фазных обмоток – обмотка возбуждения (ОВ) – постоянно включена в сеть, а на другую – обмотку управления

(ОУ) — напряжение (сигнал управления) подаётся лишь при необходимости включения двигателя.

Линейные асинхронные двигатели с бегущим магнитным полем; применяют для привода заслонок, ленточных конвейеров, подъёмно-транспортных механизмов, а также на транспорте в качестве тяговых двигателей.

### **33 Принцип действия синхронных машин и их применение.**

Принцип действия СМ основан на вращении магнитного поля. В генераторе это поле создаётся магнитом (электромагнитом) ротора, его силовые линии пересекают витки статорной обмотки, наводя в них ЭДС. В двигателе вращающееся магнитное поле создаётся токами, протекающими по статорной обмотке, и увлекает за собой магнит (электромагнит) ротора.

Магнитное поле и ротор вращаются с одинаковой частотой, поэтому машины называют синхронными. Синхронные машины широко применяются в народном хозяйстве как электрические генераторы и двигатели преимущественно большой мощности.

### **34 Классификация и устройство синхронных машин.**

СМ, как и все электрические машины, обратима, т. е. она может работать как генератором, так и двигателем. Синхронная машина состоит из неподвижной части — статора, и вращающейся части — ротора.

Статор СМ состоит из чугунной станины — корпуса, внутри которого находится сердечник статора, собранный из отдельных, изолированных между собой листов электротехнической стали. В пазы сердечника укладывают обмотку статора из медного изолированного провода.

По конструкции ротора существуют СМ с явнополюсным и неявнополюсным ротором. Ток в обмотку возбуждения подаётся через контактные кольца и щётки. Бывают СМ с магнитоэлектрическим возбуждением (используются постоянные магниты).

### **35 Требования к обмоткам статора и их разновидности**

Основные требования к обмоткам:

- а) наименьший расход обмоточной меди;
- б) удобство и минимальные затраты при изготовлении (технологичность);
- в) форма кривой ЭДС, наводимой в обмотке статора, должна быть практически синусоидальной.

Различают однослойные и двухслойные обмотки с целым и дробным числом пазов на полюс и фазу.

### **36 Электродвижущая сила обмотки статора**

Складывается из ЭДС отдельных катушек, мгновенные значения ЭДС которых равны  $e_k = B_\delta \cdot 4 \cdot \tau \cdot l \cdot f_1 \cdot w_k$ . При суммировании и переходе к действующим значениям получаем  $E_1 = 4,44 \text{ Ф} f_1 \cdot k_{0b1}$ , где  $4,44 = \pi v 2$ , Ф – магнитный поток,  $f_1$  – частота тока,  $k_{0b1}$  – обмоточный коэффициент.

### **37 Реакция якоря синхронного генератора.**

При протекании по обмотке якоря тока нагрузки генератора создается собственное магнитное поле, которое действует на поле обмотки возбуждения. Влияние магнитного потока якоря  $\Phi_a$  на поле обмотки возбуждения  $\Phi_0$  называется *реакцией якоря*.

При чисто активной нагрузке реакция якоря поперечная.

При индуктивной нагрузке ток  $I$  отстает от ЭДС на  $90^\circ$ , и реакция якоря будет продольной размагничивающей.

При ёмкостной нагрузке реакция якоря продольная подмагничивающая.

Для компенсации действия реакции якоря изменяют ток возбуждения, при активной и индуктивной нагрузке его увеличивают, при ёмкостной – уменьшают.

### **38 Характеристики СГ при автономной работе.**

Характеристика холостого хода СГ представляет собой график зависимости напряжения на выходе генератора в режиме холостого хода от тока в обмотке возбуждения  $I_B$ . При увеличении  $I_B$  напряжение растёт.

*Внешняя характеристика* СГ определяет зависимость  $U = f(I)$  при  $I_B = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ ,  $f = f_H$  и показывает, как изменяется напряжение на зажимах генератора  $U$  при изменении нагрузки и неизменном токе возбуждения. При активной и индуктивной нагрузке напряжение падает.

*Регулировочная характеристика* определяет зависимость  $I_B = f(I)$  при  $U = U_H = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$  и показывает, как нужно регулировать ток возбуждения синхронного генератора, чтобы при изменении нагрузки его напряжение оставалось неизменным. При активной и индуктивной нагрузке  $I_B$  нужно увеличивать.

### **39 Параллельная работа синхронных генераторов.**

Большинство синхронных генераторов работают в параллель с сетью.

Для включения синхронных трёхфазных генераторов на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия:

1) равенство действующих значений напряжения сети  $U_c$  и напряжения (ЭДС) на зажимах генератора  $U_f$  включаемого в сеть;

2) напряжения сети  $U_c$  и генератора  $U_r$  в момент включения должны совпадать по фазе;

3) равенство частот генератора  $f_r$  и сети  $f_c$  которое достигается регулированием частоты вращения;

4) одинаковая последовательность чередования фаз сети и генератора.

Несоблюдение может вызвать серьезную аварию и разрушение СГ.

#### 40 Регулирование активной и реактивной мощности СГ.

Регулирование осуществляется изменением тока возбуждения. При небольших его значениях ток статорной обмотки достаточно велик, генератор потребляет из сети индуктивную мощность, Это режим недовозбуждения. По мере увеличения  $I_b$  ток статорной обмотки уменьшается, проходит минимум (режим нормального возбуждения),  $\cos\varphi = 1$ , и затем опять увеличивается – режим перевозбуждения – при нём генератор отдаёт в сеть ёмкостную реактивную мощность. Получается  $U$ -образная характеристика, минимум которой по мере увеличения активной нагрузки смещается в сторону больших  $I_b$ .

При изменении возбуждения генератора изменяется только его реактивная мощность, активная зависит от нагрузки.

#### 41 Момент синхронного двигателя.

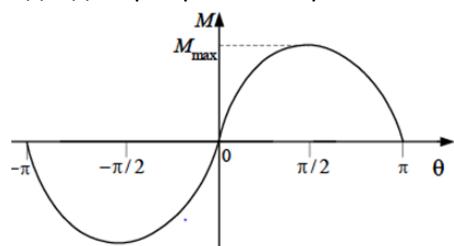
К статору синхронного двигателя подводят трехфазный переменный ток, а к обмотке возбуждения ротора – постоянный. Вращающееся магнитное поле создаёт момент

$M = 3 \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi / \omega_p = M_{\max} \cdot \sin\theta$ ,  
где  $\theta$  – угол рассогласования. При этом с увеличением нагрузки угол  $\theta$  увеличивается, момент возрастает по синусоидальному закону. Если момент нагрузки превысит  $M_{\max}$ , то поддержание синхронной частоты вращения ротора будет невозможно и машина выпадет из синхронизма.

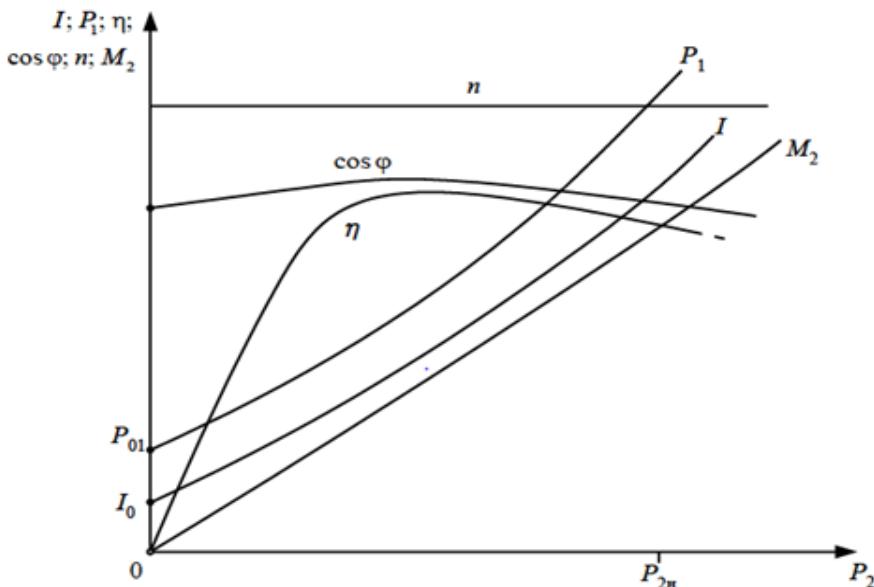
Вращающий момент синхронного двигателя пропорционален приложенному напряжению, а в асинхронном – квадрату напряжения.

#### 42 Рабочие характеристики СД.

Показывают как при увеличении полезной мощности на валу двигателя  $P_2$  частота вращения ротора  $n$  остаётся постоянной, полезный вращающий момент  $M_2$  увеличивается пропорционально, ток статора  $I$  и потребляемая из сети мощности  $P_1$  возрастают от начальных значений с



некоторым опережением, коэффициент мощности синхронного двигателя  $\cos \varphi$  и КПД  $\eta$  увеличиваются, достигают максимума и затем уменьшаются. Снято при постоянных значениях напряжения сети  $U$ , частоты сети  $f$  и тока возбуждения  $I_B$ .



#### 43 Пуск синхронного двигателя.

Пуск синхронного двигателя возможен лишь при условии предварительного разгона до частоты, равной синхронной или близкой к ней. Для синхронных двигателей обычно применяется асинхронный пуск, состоящий в том, что в начале пуска двигатель разгоняется как асинхронный. Для этого на роторе размещается пусковая обмотка.

При подключении обмотки статора к сети возникает вращающееся магнитное поле, которое индуцирует токи в пусковой обмотке ротора. В результате возникает вращающий момент, и двигатель разгоняется до некоторой установившейся частоты  $n_0$ . В процессе асинхронного пуска обмотку возбуждения нельзя оставлять разомкнутой, на период разгона ротора её замыкают на активное сопротивление, примерно в десять раз большее сопротивления обмотки возбуждения.

После разгона обмотка возбуждения отключается от сопротивления и подключается к источнику постоянного тока. В результате возникает обычный для синхронной машины момент взаимодействия вращающегося поля статора и полюсов ротора, и двигатель втягивается в синхронизм, т. е. ротор начинает вращаться синхронно с полем.

#### **44 Синхронные машины специального назначения.**

Синхронные машины с постоянными магнитами (магнитоэлектрические) на роторе, имеют не обмотку, а постоянные магниты. Статор этих машин обычной конструкции с двух- или трёхфазной обмоткой.

Такие двигатели чаще всего изготавливают на небольшие мощности и применяют в приборостроении и устройствах автоматики.

Синхронные генераторы с постоянными магнитами применяют реже, главным образом в качестве автономно работающих генераторов повышенной частоты малой и средней мощности.

Шаговый (импульсный) двигатель — это электромеханическое устройство, которое преобразует импульсы напряжения в угловые или линейные дискретные (скачкообразные) перемещения (шаги). Наибольшее применение такие двигатели получили в электроприводах с программным управлением.

Синхронный реактивный двигатель СРД — в котором момент создается за счёт неравномерной магнитной проводимости ротора вдоль продольной и поперечной осей, причем ротор не имеет ни обмоток возбуждения, ни постоянных магнитов.

Синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами СДПМ является усовершенствованием СРД, имеет больший момент, выше КПД, компактнее и обеспечивает точное управление скоростью/моментом.