

Лекция 17

II.

Магнитные цепи и электромагнитные устройства

Электрические машины (продолжение)

Содержание



Синхронные электрические машины

1. Конструкция синхронной машины
2. Принцип действия синхронного генератора
3. Принцип действия синхронного двигателя
4. Особенности пуска синхронного двигателя
5. Схема замещения и уравнения электрического состояния синхронной машины
6. Характеристики синхронного генератора
7. Характеристики синхронного двигателя

Синхронные электрические машины

Синхронные генераторы

- крупные электростанции
- автономные источники электроэнергии.



Синхронные двигатели

привод производственных механизмов большой мощности (насосные агрегаты, компрессоры, прокатные станы)

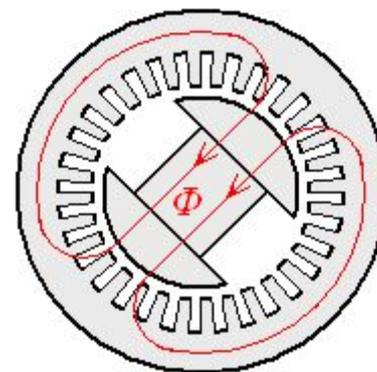


1. Конструкция синхронной машины

Статор синхронной машины – шихтованный сердечник в форме полого цилиндра с продольными пазами на внутренней поверхности, в которых уложены проводники трехфазной обмотки статора

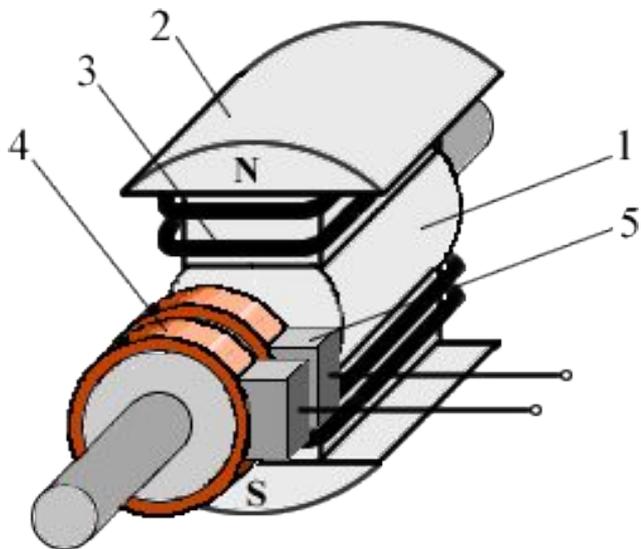
Ротор синхронной машины: явнополюсный (с явновыраженными полюсами) и неявнополюсный (с неявновыраженными полюсами)

Магнитная цепь СМ



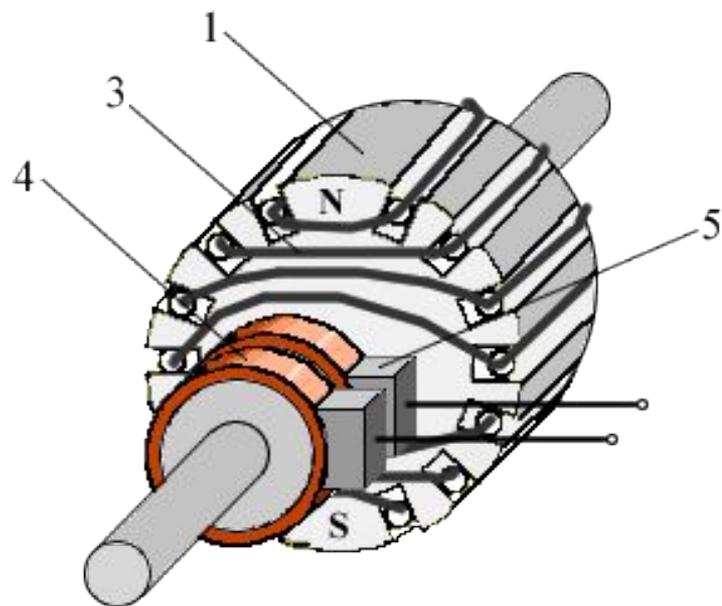
1. Конструкция синхронной машины (продолжение)

Ротор синхронной машины



Явнополюсный ротор синхронной машины ($p=1$)

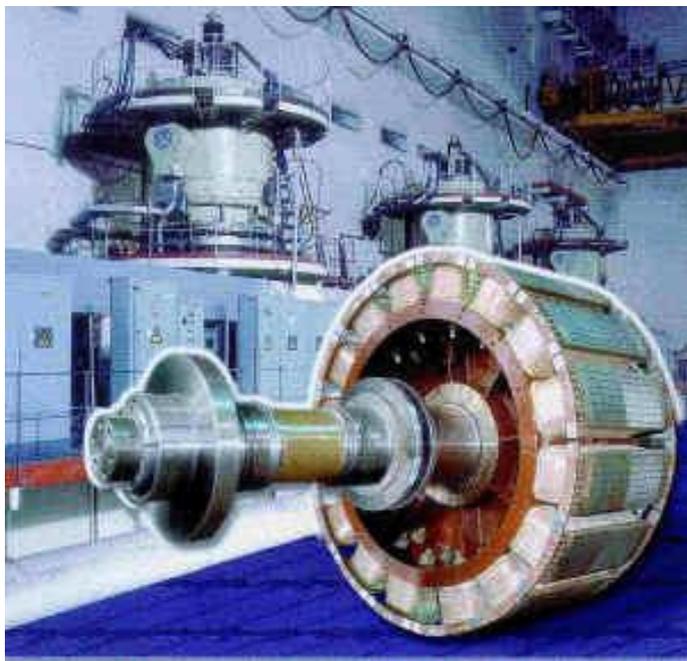
1 – магнитопровод; 2 – полюса; 3 – обмотка возбуждения; 4 – контактные кольца; 5 – электрические щетки



Неявнополюсный ротор синхронной машины

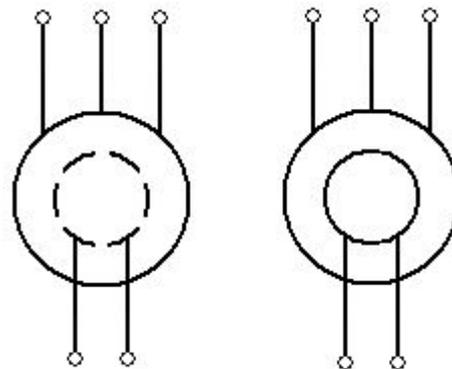
1 – магнитопровод; 3 – обмотка возбуждения; 4 – контактные кольца; 5 – электрические щетки

1. Конструкция синхронной машины (продолжение)



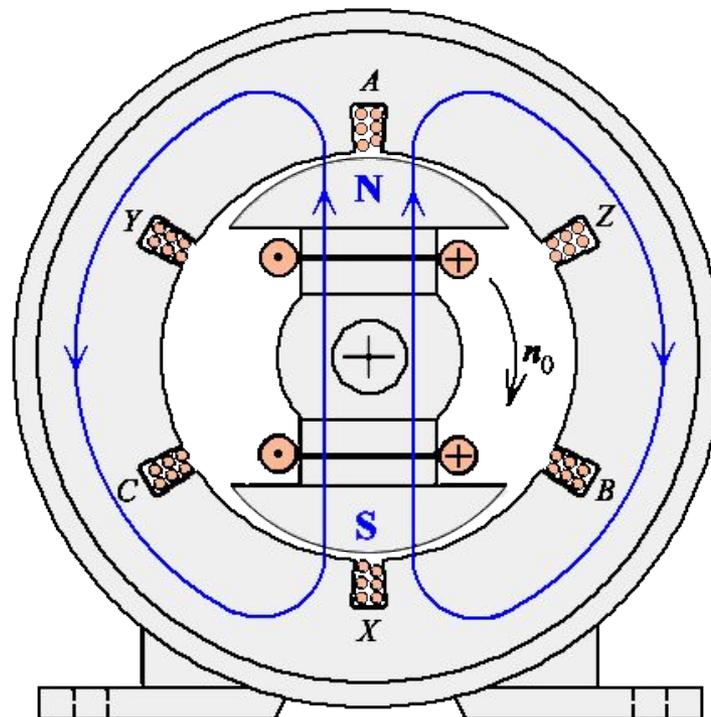
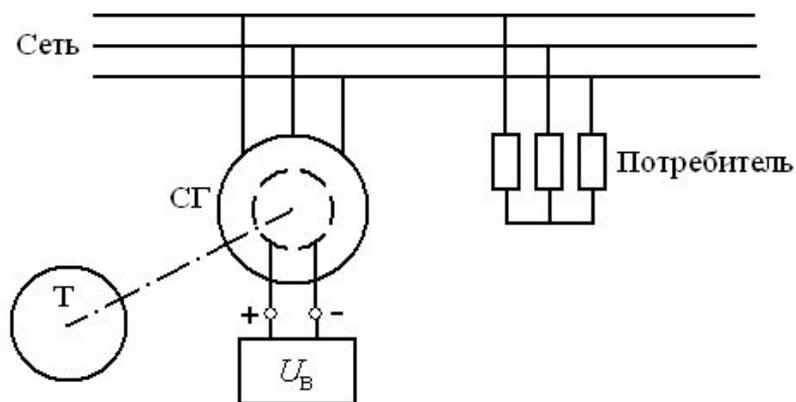
*Явнополюсный ротор гидрогенератора
с числом полюсов 16 ($p=8$)*

Условное обозначение
синхронной машины в схемах.
а – с явнополюсным ротором;
б – с неявнополюсным ротором



2. Принцип действия синхронного генератора

Схема включения синхронного генератора



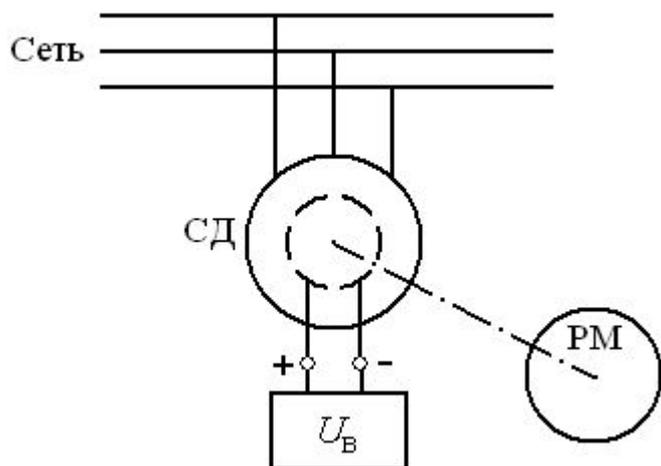
Постоянное магнитное поле возбуждения, вращаясь вместе с ротором, индуцирует в каждой фазе обмотки статора ЭДС. При синусоидальном законе распределения индукции в воздушном зазоре изменение ЭДС во времени также синусоидально

$$e_A = E_m \sin(2\pi ft) \quad e_B = E_m \sin(2\pi ft - 120^\circ) \quad e_C = E_m \sin(2\pi ft - 240^\circ)$$

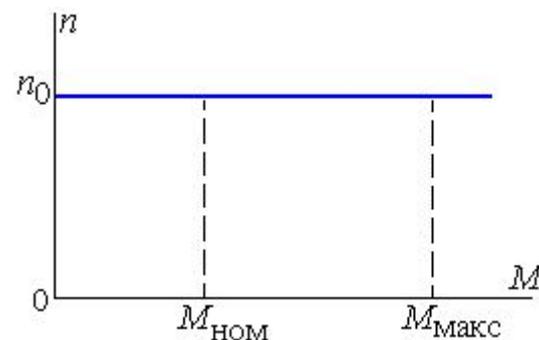
Частота ЭДС:
$$f = \frac{n_0 p}{60}$$

3. Принцип действия синхронного двигателя

Схема включения синхронного двигателя для привода рабочего механизма показана



Механическая характеристика синхронного двигателя



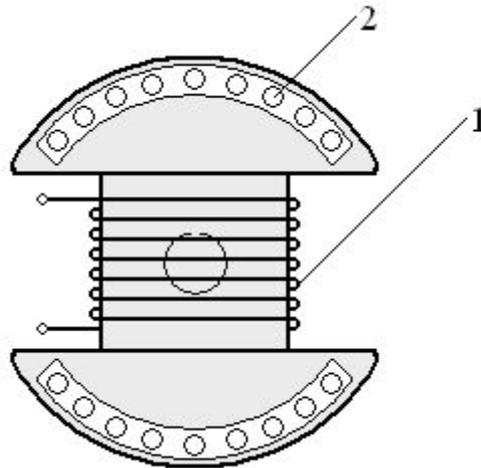
Магнитное поле статора, вращаясь, увлекает за собой ротор с его магнитным полем. Ротор вращается с частотой вращения магнитного поля. Ротор и магнитное поле статора вращаются синхронно.

Частота вращения ротора синхронного двигателя определяется частотой тока в обмотке f и числом пар полюсов p :

$$n = n_0 = \frac{60f}{p}$$

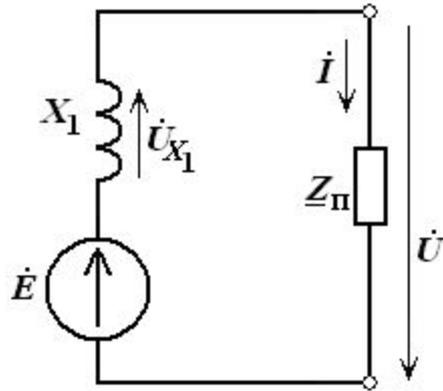
4. Особенности пуска синхронного двигателя

Для осуществления пуска синхронного двигателя на полюсах ротора помещается дополнительная **пусковая короткозамкнутая обмотка**, подобная обмотке ротора асинхронного двигателя, которая обеспечивает асинхронный режим пуска синхронного двигателя.



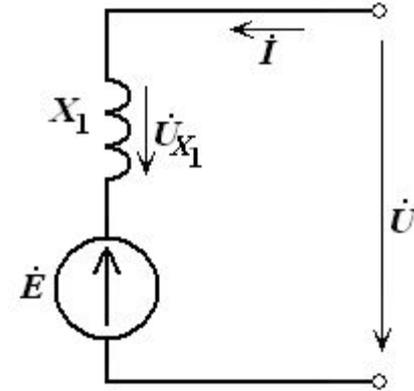
Явнополюсный ротор синхронного двигателя с пусковой обмоткой
1 – обмотка возбуждения; 2 – пусковая короткозамкнутая обмотка

5. Схема замещения и уравнения электрического состояния синхронной машины



$$U + U_{X1} = E$$

Напряжение на зажимах генератора определяется величиной ЭДС, индуцируемой магнитным полем возбуждения, за вычетом падения напряжения в индуктивном сопротивлении обмотки статора



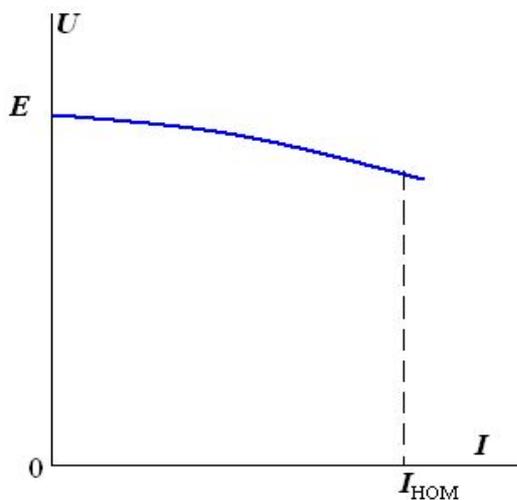
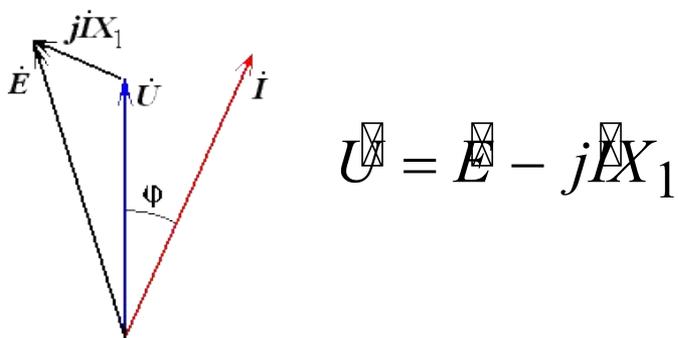
$$U - U_{X1} = E$$

Напряжение, приложенное к статору синхронного двигателя, уравновешивается противо-ЭДС, индуцируемой магнитным полем возбуждения, и падением напряжения в индуктивном сопротивлении обмотки статора

6. Характеристики синхронного генератора

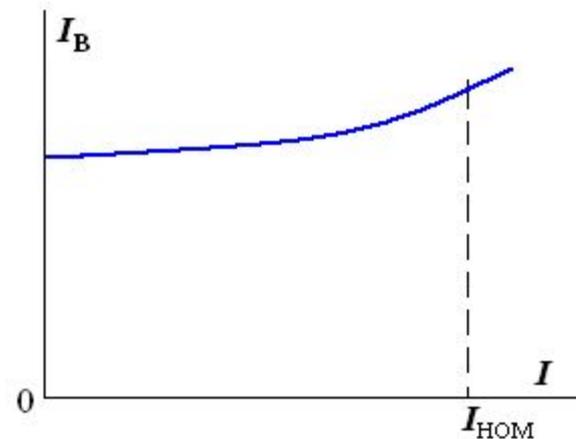
Внешняя характеристика

Зависимость напряжения генератора от величины тока нагрузки $U(I)$



Регулировочная характеристика

Зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при неизменном напряжении генератора называется регулировочной характеристикой.

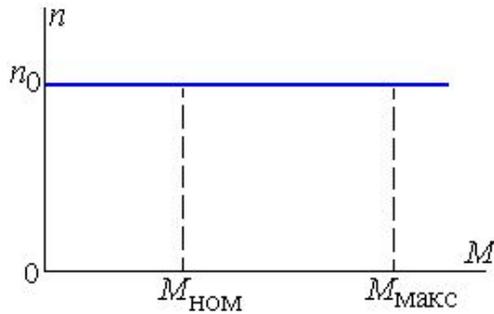


7. Характеристики синхронного двигателя

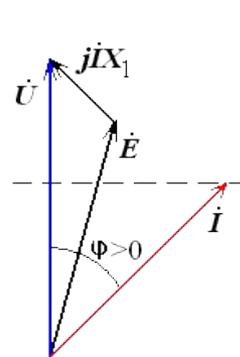
Регулирование коэффициента мощности

$$\vec{E} = \vec{U} - j\vec{I}X_1$$

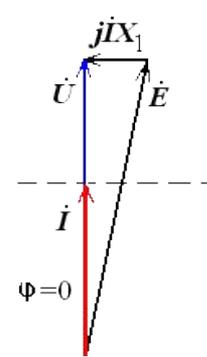
Механическая характеристика синхронного двигателя



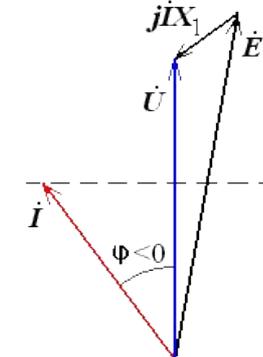
$$n = n_0 = \frac{60f}{p}$$



невозбуждение
 $\varphi > 0, \cos\varphi < 1$. активно-индуктивный характер

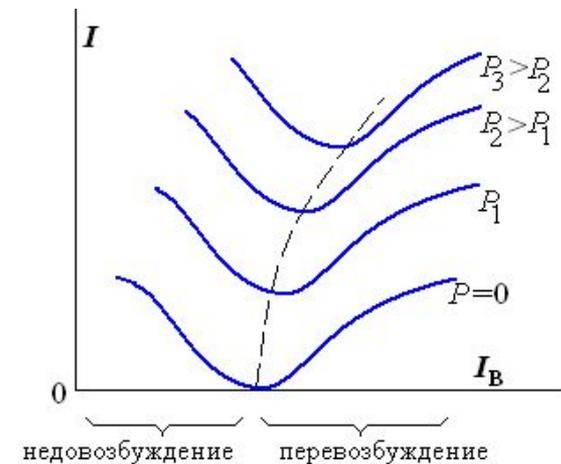


$\varphi = 0, \cos\varphi = 1$. активный характер



перевозбуждение
 $\varphi < 0, \cos\varphi < 1$. активно-емкостной характер

V-образные характеристики синхронного двигателя



Заключение

1. Конструкция синхронной машины имеет определенные особенности по сравнению с другими типами электрических машин. *Статор* синхронной машины – шихтованный сердечник в форме полого цилиндра с продольными пазами на внутренней поверхности, в которых уложены проводники трехфазной обмотки статора. *Ротор* синхронной машины может быть двух типов: явнополюсный и неявнополюсный.

2. Явнополюсный ротор синхронной машины имеет цилиндрический магнитопровод, расположенный на валу машины, к поверхности которого крепятся полюса с полюсными наконечниками. На полюсах располагается электрическая обмотка ротора, называемая обмоткой возбуждения.

Неявнополюсный ротор синхронной машины имеет цилиндрический магнитопровод с продольными пазами на его поверхности. Обмотка возбуждения распределена в пазах магнитопровода ротора. Для соединения обмотки возбуждения с неподвижной электрической цепью служат два *контактных кольца*, установленные на валу ротора, и неподвижные электрические щетки, обеспечивающие скользящий электрический контакт.

Заключение

3. Работа синхронного генератора основана на индукционном действии магнитного поля.

Ротор генератора вращается приводным двигателем. Обмотка возбуждения синхронного генератора подключена к источнику постоянного тока (возбудителю) и создает постоянное магнитное поле возбуждения, которое вращается вместе с ротором. При этом в неподвижной обмотке статора индуцируется ЭДС. При синусоидальном законе распределения индукции в воздушном зазоре изменение ЭДС во времени также синусоидально. Частота этой ЭДС пропорциональна частоте вращения ротора и числу пар полюсов.

4. Работа синхронного двигателя основана на взаимодействии магнитных полей статора и ротора.

Обмотка статора синхронного двигателя подключается к трехфазному источнику электроэнергии или к трехфазной сети и создает вращающееся магнитное поле. Обмотка возбуждения синхронного двигателя подключена к источнику постоянного тока и создает постоянное магнитное поле. Магнитное поле статора, вращаясь, увлекает за собой ротор с его магнитным полем, и ротор вращается с частотой вращения магнитного поля. Ротор и магнитное поле статора вращаются синхронно.

Частота вращения ротора синхронного двигателя определяется частотой вращения магнитного поля статора и не зависит от момента нагрузки на валу.

Заключение

5. Для осуществления пуска синхронного двигателя на полюсах ротора помещается *дополнительная пусковая короткозамкнутая обмотка*, подобная обмотке ротора асинхронного двигателя, которая обеспечивает асинхронный режим пуска синхронного двигателя.
6. Схема замещения позволяет составить уравнения электрического состояния синхронного генератора и синхронного двигателя и анализировать режимы их работы.

Заключение

7. **Внешняя характеристика синхронного генератора** - зависимость напряжения генератора от величины тока нагрузки $U(I)$. С увеличением нагрузки генератора напряжение уменьшается.

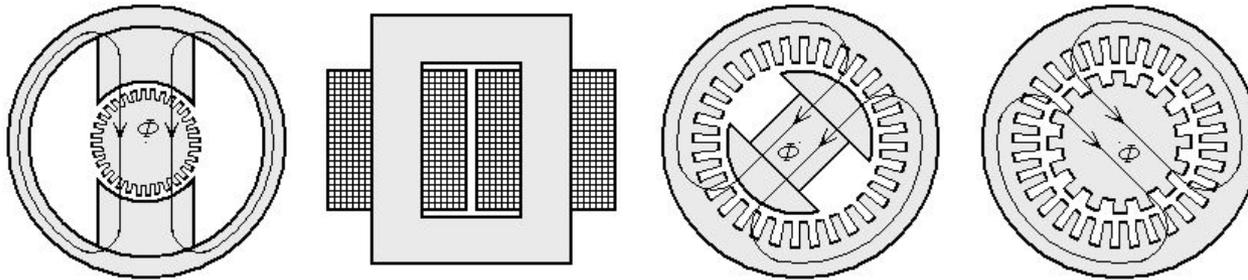
8. **Регулировочная характеристика синхронного генератора** – это зависимость тока возбуждения от тока якоря, при неизменном напряжении на зажимах генератора и постоянной частоте вращения. Она показывает, как необходимо регулировать ток возбуждения при изменении нагрузки, чтобы поддерживать напряжение на зажимах генератора неизменным.

9. Частота вращения синхронного двигателя не зависит от режима работы, определяется частотой тока обмотки статора. **Механическая характеристика** изображается горизонтальной линией.

10. Изменение тока возбуждения синхронного двигателя позволяет изменять его ток статора и коэффициент мощности, устанавливать наиболее рациональный режим его работы с коэффициентом мощности $\cos\varphi=1$. Способность синхронного двигателя работать в режиме активно-емкостного приемника используется для **компенсации реактивной мощности**. Зависимость тока статора от тока возбуждения определяется **V-образными характеристиками**.

Контрольные вопросы

Укажите магнитную цепь синхронной машины

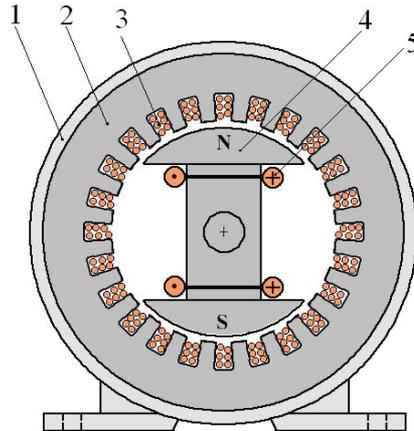


Основные элементы магнитной цепи синхронной машины:

- Обмотка возбуждения, станина, полюса статора, шихтованный сердечник якоря
- Трехфазная обмотка статора, шихтованный сердечник статора, шихтованный сердечник ротора
- Явнополюсный ротор с обмоткой возбуждения, шихтованный сердечник статора

Контрольные вопросы

Перечислить элементы конструкции синхронной машины

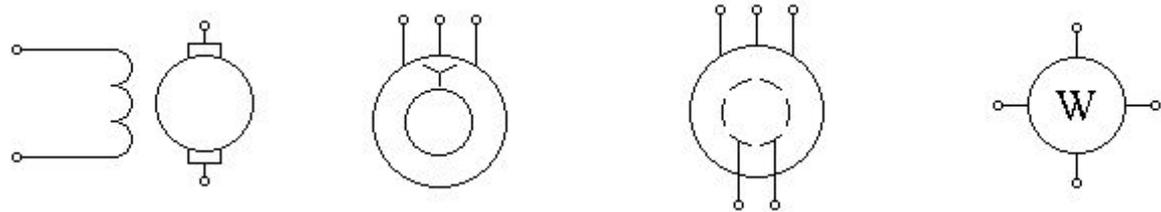


Контактные кольца синхронной машины – это:

- Часть конструкции СМ, обеспечивающая скользящий электрический контакт обмотки возбуждения вращающегося ротора с источником постоянного тока;
- Часть конструкции синхронного генератора, обеспечивающая электрическое соединение с потребителем электроэнергии;
- Часть конструкции СМ, обеспечивающая электрический контакт обмотки статора с трехфазным источником электроэнергии.

Контрольные вопросы

Условное обозначение синхронной машины в схемах :



Каков характер магнитного поля, создаваемого обмоткой возбуждения синхронной машины?

- Вращающееся магнитное поле.
- Пульсирующее магнитное поле.
- Постоянное магнитное поле.
- Экспоненциальное магнитное поле.

Характер тока в обмотках статора и ротора СМ?

- Синусоидальный ток в трехфазной обмотке статора, постоянный ток в обмотке возбуждения на роторе;
- Постоянный ток в обмотке возбуждения на статоре, постоянный ток в обмотке якоря на роторе;
- Синусоидальный ток в трехфазной обмотке статора, синусоидальный ток в обмотке возбуждения на роторе

Контрольные вопросы

Чем обеспечивается пуск синхронного двигателя?

- Дополнительной короткозамкнутой обмоткой на роторе;
- Дополнительной пусковой обмоткой на статоре;
- Пусковым реостатом в цепи обмотки статора.

Принцип действия синхронного генератора

- Создание ЭДС индукции в обмотке якоря, вращающегося в постоянном магнитном поле возбуждения.
- Создание ЭДС индукции в трехфазной обмотке статора под воздействием вращающегося ротора с постоянным магнитным полем возбуждения.
- Создание ЭДС индукции в обмотке ротора под воздействием вращающегося магнитного поля статора.

Принцип действия синхронного двигателя

- Создание электромагнитного вращающего момента при взаимодействии обмотки якоря с постоянным магнитным полем возбуждения.
- Создание электромагнитного вращающего момента при взаимодействии обмотки ротора с вращающимся магнитным полем статора.
- Создание электромагнитного вращающего момента при взаимодействии постоянного магнитного поля ротора с вращающимся магнитным полем статора.

Контрольные вопросы

Зависит ли частота вращения синхронного двигателя от момента нагрузки на валу:

- С увеличением момента M на валу синхронного двигателя частота вращения n уменьшается.
- С увеличением момента M на валу синхронного двигателя частота вращения n увеличивается.
- С увеличением момента M на валу синхронного двигателя частота вращения n не меняется.

Как соотносятся частота вращения холостого хода (n_0) и номинальная частота вращения ($n_{ном}$) СД?

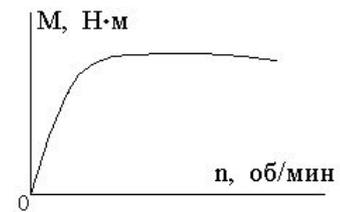
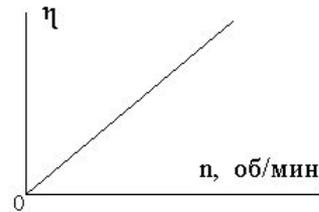
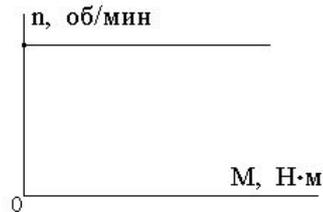
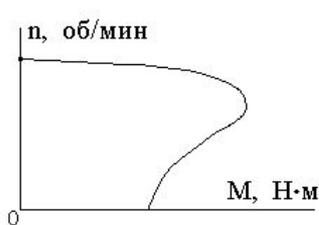
1) $n_{ном} = n_0$ 2) $n_{ном} > n_0$ 3) $n_{ном} < n_0$

Частота вращения синхронного двигателя:

1) $n_0 = 60f/p$ 2) $n_0 = 3UI$ 3) $n_0 = P/(3U)$

Контрольные вопросы

Указать график механической характеристики синхронного двигателя



Как обеспечивается активно-емкостный характер синхронного двигателя в электрической цепи?

- Увеличением тока возбуждения в режиме перевозбуждения;
- Подключением к синхронному двигателю батареи конденсаторов;
- Регулированием механической нагрузки на валу.

Контрольные вопросы

Зависит ли напряжение синхронного генератора от величины нагрузки?

- С увеличением нагрузки напряжение синхронного генератора уменьшается.
- С увеличением нагрузки напряжение синхронного генератора увеличивается.
- Напряжение синхронного генератора не зависит от величины нагрузки.

Что такое внешняя характеристика синхронного генератора?

- Зависимость напряжения на зажимах генератора от величины тока нагрузки
- Зависимость напряжения генератора от тока возбуждения
- Зависимость тока возбуждения от тока якоря, при неизменном напряжении на зажимах генератора

Указать график внешней характеристики СГ

