

154-155 Лабораторная работа № 17.

Исследование трёхфазного синхронного двигателя

Цель работы

Изучить принцип действия, устройство и разновидности трёхфазных синхронных двигателей. Изучить их характеристики.

Краткие сведения из теории

Принцип действия синхронного двигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем полюсов ротора. К статору синхронного двигателя подводят трехфазный переменный ток, а к обмотке возбуждения ротора – постоянный.

Вращающееся магнитное поле увлекает за собой полюса ротора и заставляет их вращаться.

При нагрузке ротор синхронного двигателя отстает на некоторый угол от вращающегося магнитного поля, причем с увеличением нагрузки угол θ увеличивается. Физически это означает, что в двигателе, в отличие от генератора, полюсы ротора отстают от вращающегося магнитного поля статора, последнее «ведет» за собой ротор.

Рабочими характеристиками синхронного двигателя называют зависимости частоты вращения ротора n , тока статора I , потребляемой из сети мощности P_1 , полезного вращающего момента M_2 , коэффициента мощности $\cos\phi$ и КПД η от полезной мощности на валу двигателя P_2 при постоянных значениях напряжения сети U , частоты сети f и тока возбуждения I_B .

Вид графика $\cos\phi$ зависит от настройки тока возбуждения: если в режиме холостого хода ток возбуждения установлен таким, что $\cos\phi = 1$, то с ростом нагрузки коэффициент мощности снижается; если же установить $\cos\phi = 1$ при номинальной нагрузке, то при недогрузке синхронный двигатель будет забирать из сети реактивный опережающий ток, а при перегрузке – отстающий.

График $M_2 = f(P_2)$ выходит из начала координат и линейно зависит от мощности на валу P_2 , так как частота вращения n не изменяется.

Ток в обмотке якоря двигателя I растет быстрее, чем потребляемая мощность P_1 , вследствие уменьшения $\cos\varphi$.

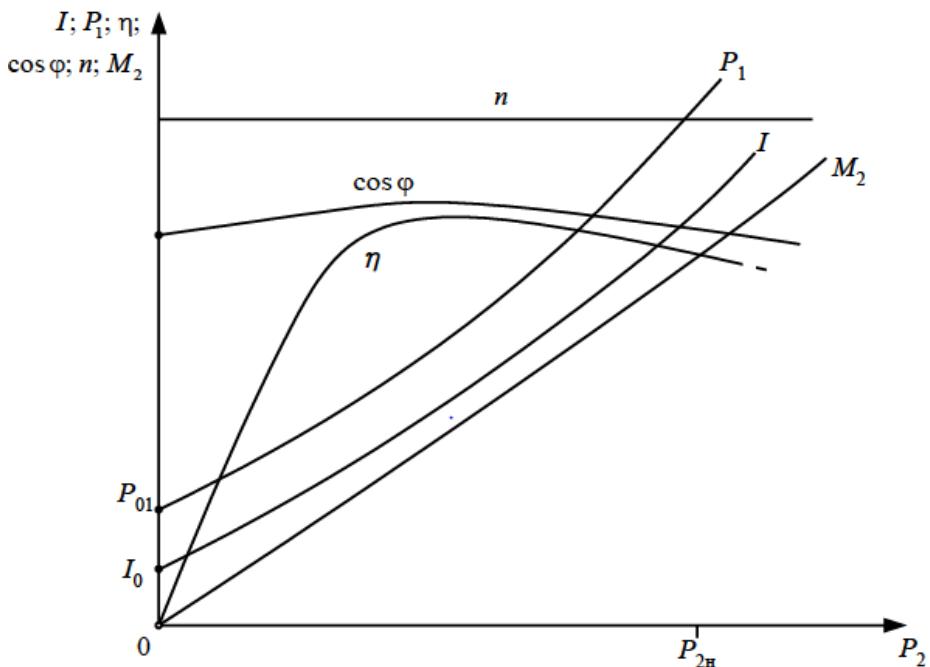


Рисунок 3.18 – Рабочие характеристики синхронного двигателя

С ростом нагрузки на валу двигателя увеличиваются потери, поэтому потребляемая мощность P_1 растет быстрее полезной мощности P_2 , и график $P_1 = f(P_2)$ имеет несколько криволинейный вид.

Коэффициент полезного действия синхронной машины обычно составляет 85–99 %. Наибольший КПД соответствует нагрузке 0,5–0,75 P_N , также существует тенденция к увеличению КПД при повышении мощности.

Синхронный реактивный двигатель — это электродвигатель переменного тока, в котором момент создается за счёт неравномерной магнитной проводимости ротора вдоль продольной и поперечной осей, причём ротор не имеет ни обмоток возбуждения, ни постоянных магнитов. Его статор схож со

статором обычных асинхронных машин, а главные преимущества — простая и надёжная конструкция ротора без магнитов, низкие потери и высокая эффективность.



Источник: Siemens

Принцип работы

- Магнитное поле статора:

Трёхфазное напряжение, подаваемое на обмотку статора, создает вращающееся магнитное поле, аналогично другим синхронным машинам.

- Магнитная анизотропия ротора:

Ротор имеет конструкцию, обеспечивающую разную магнитную проводимость вдоль двух его осей (продольной и поперечной).

Создание вращающего момента:

Когда вращающееся поле статора наводит магнитный поток в роторе, ротор ориентируется таким образом, чтобы его магнитная проводимость была максимальной. Это выравнивание создаёт вращающий момент, который заставляет ротор вращаться с той же скоростью, что и поле статора, т.е. синхронно.

Конструктивные особенности ротора

- Ротор не содержит постоянных магнитов или обмоток возбуждения, что делает его простым и дешёвым в производстве.
- Вместо них используются специальные стальные пластины, которые и обеспечивают различную магнитную проводимость по осям.

Преимущества

- Простая конструкция ротора:

Отсутствие магнитов и обмоток снижает стоимость и повышает надёжность.

- Высокая эффективность:

Низкие потери в роторе способствуют высокой энергоэффективности.

- Надёжность:

Отсутствие магнитов исключает риск их размагничивания.

- Устойчивая скорость:

Синхронная работа означает, что двигатель вращается с постоянной скоростью, не зависящей от нагрузки.

- Широкий диапазон скорости:

Позволяет эффективно регулировать скорость вращения.

Синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ, PMSM) — это тип электродвигателя, где ротор использует **постоянные магниты** для создания магнитного поля, а не обмотки возбуждения, что делает его более эффективным (выше КПД), компактным и обеспечивающим точное управление скоростью/моментом, в отличие от классического синхронного реактивного двигателя (СРД) без магнитов. Он сочетает преимущества двигателей постоянного тока и машин переменного тока, требует сложного электронного управления (инвертора) и популярен в электроприводах благодаря высоким энергетическим характеристикам.

Принцип работы

- **Статор:** Как и у других синхронных машин, обмотки статора питают трёхфазным переменным током, создавая вращающееся магнитное поле.

- **Ротор:** Постоянные магниты на роторе создают своё магнитное поле.
- **Взаимодействие:** Магнитное поле ротора взаимодействует с полем статора, заставляя ротор вращаться синхронно с вращающимся полем статора.
- **Управление:** Электронный блок управления (инвертор) управляет током статора, обеспечивая точное позиционирование и скорость, заменяя механический коллектор.

Основные преимущества

- **Высокий КПД:** Отсутствие потерь на возбуждение (как в асинхронных или синхронных двигателях с обмотками возбуждения ротора).
- **Компактность:** Высокое отношение мощность/масса и мощность/объём.
- **Точное управление:** Высокая точность контроля момента и скорости, отсутствие скольжения.
- **Надёжность:** Отсутствие щёток и коллекторов (бесщёточная конструкция).

Отличия от синхронного реактивного двигателя (СРД)

- **СДПМ:** Ротор с постоянными магнитами.
- **СРД:** Ротор с явно выраженным полюсами, но без магнитов или обмоток, использует эффект *reluctance* (магнитное сопротивление) для создания момента.

Иногда СДПМ путают с СРД, но в СДПМ магнитное поле ротора создается **магнитами**, а не только реактивностью ротора. Добавление в СРД постоянных магнитов увеличивает вращающий момент, точность управления и КПД.

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить устройство и принцип действия синхронного двигателя.
- 2 Изучить рабочие характеристики синхронного двигателя.
- 3 Изучить особенности синхронного реактивного двигателя.
- 4 Изучить особенности синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Содержание отчёта

- 1 Описание принципа действия синхронного двигателя.
- 2 Рабочие характеристики синхронного двигателя с описанием.
- 3 Описание синхронного реактивного двигателя.
- 4 Описание синхронного двигателя с постоянными магнитами.
- 5 Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Почему вращается ротор синхронного двигателя?
- 2 Как изменяются основные параметры двигателя при изменении нагрузки на валу?
- 3 Принцип работы синхронного реактивного двигателя?
- 4 Какие преимущества имеет СРД?
- 5 Как улучшаются характеристики СРД при добавлении в ротор постоянных магнитов и превращении его в СДПМ?