

$$\begin{aligned}
P_1 &= m_1 \cdot U \cdot I \cdot \cos(\psi - \theta) = \\
&= m_1 \cdot U \cdot I \cdot \cos \psi \cdot \cos \theta + m_1 \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta = \\
&= m_1 \cdot U \cdot \frac{U \cdot \sin \theta}{x_q} \cdot \cos \theta + m_1 \cdot U \cdot \frac{E_0 - U \cdot \cos \theta}{x_d} \cdot \sin \theta = \\
&= \frac{m_1 \cdot U \cdot E_0}{x_d} \cdot \sin \theta + \frac{m_1 \cdot U^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot \sin(2 \cdot \theta).
\end{aligned}$$

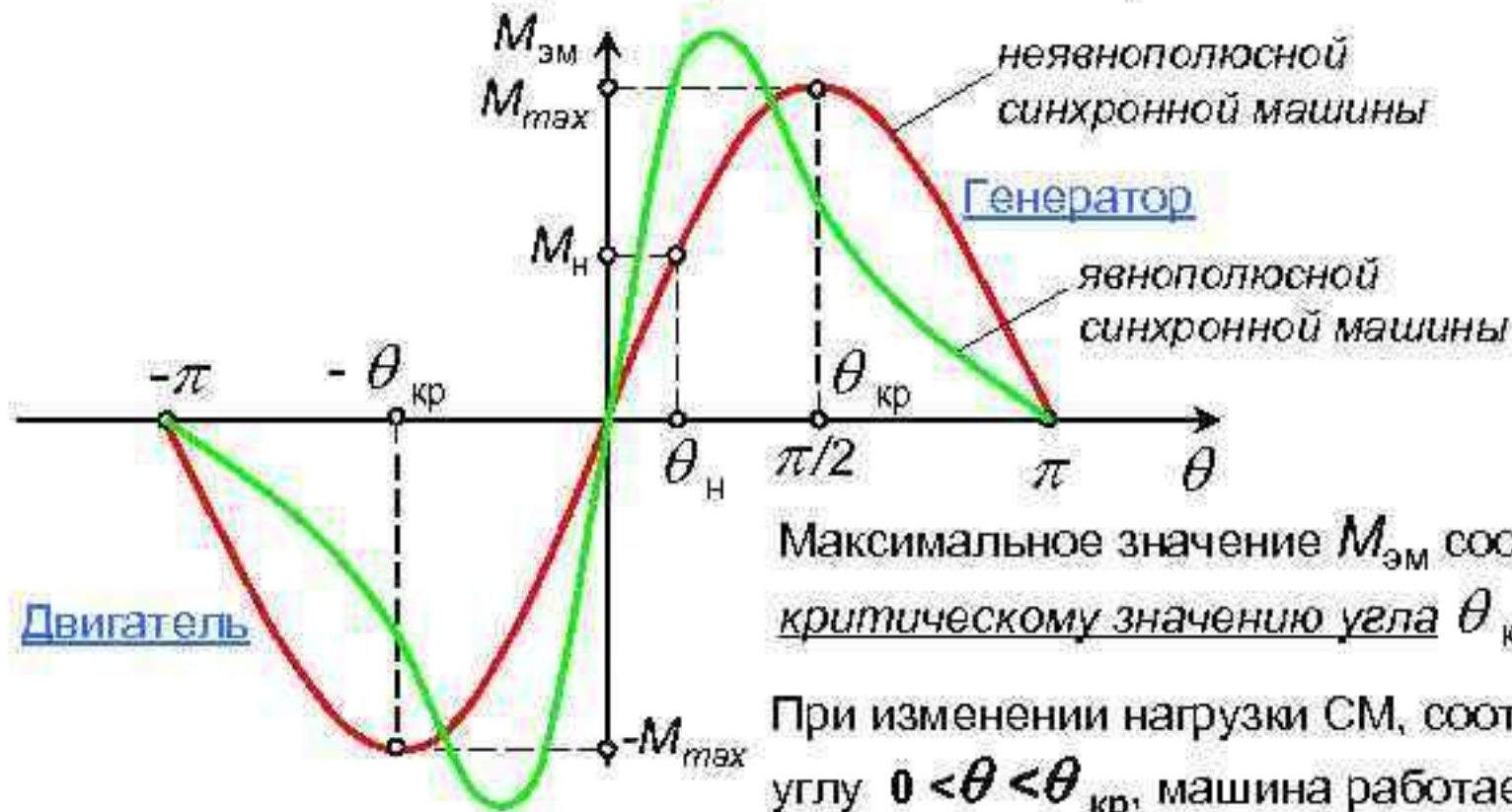
$$M = \frac{m_1 \cdot U \cdot E_0}{\omega \cdot x_d} \cdot \sin \theta + \frac{m_1 \cdot U^2}{2 \cdot \omega} \cdot \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot \sin(2 \cdot \theta).$$

$M_{\text{осн.}}$

$M_{\text{реакт.}}$

$$x_q \approx 0,6 \cdot x_d.$$

Угловая характеристика синхронной машины



При этом любой нагрузке соответствует равенство вращающего момента первичного двигателя M_1 сумме противодействующих моментов, т.е.

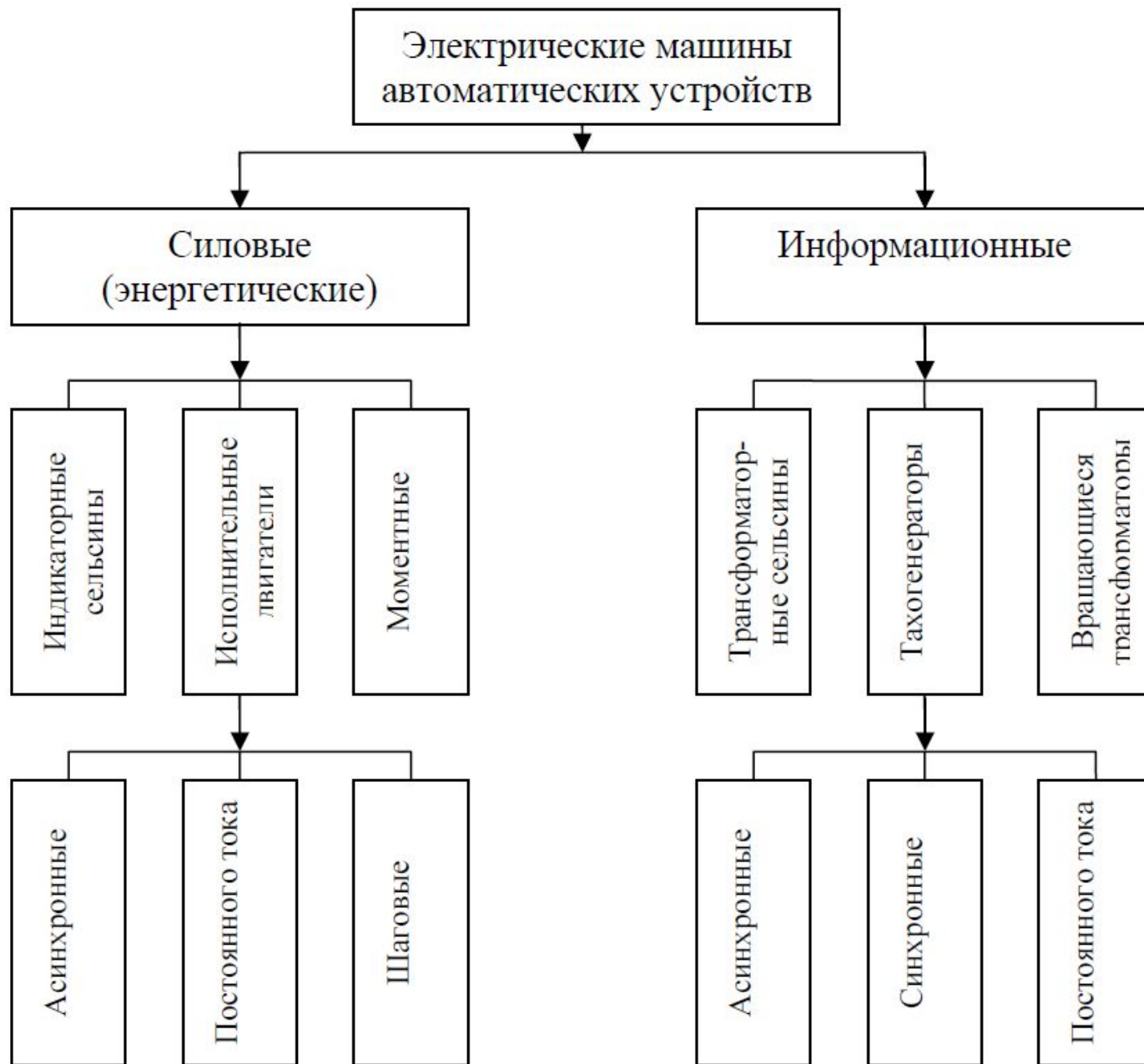
$$M_1 = M_{эм} + M_0$$

В результате частота вращения остается неизменной, равной синхронной частоте n_1 .

Электромеханические устройства автоматики

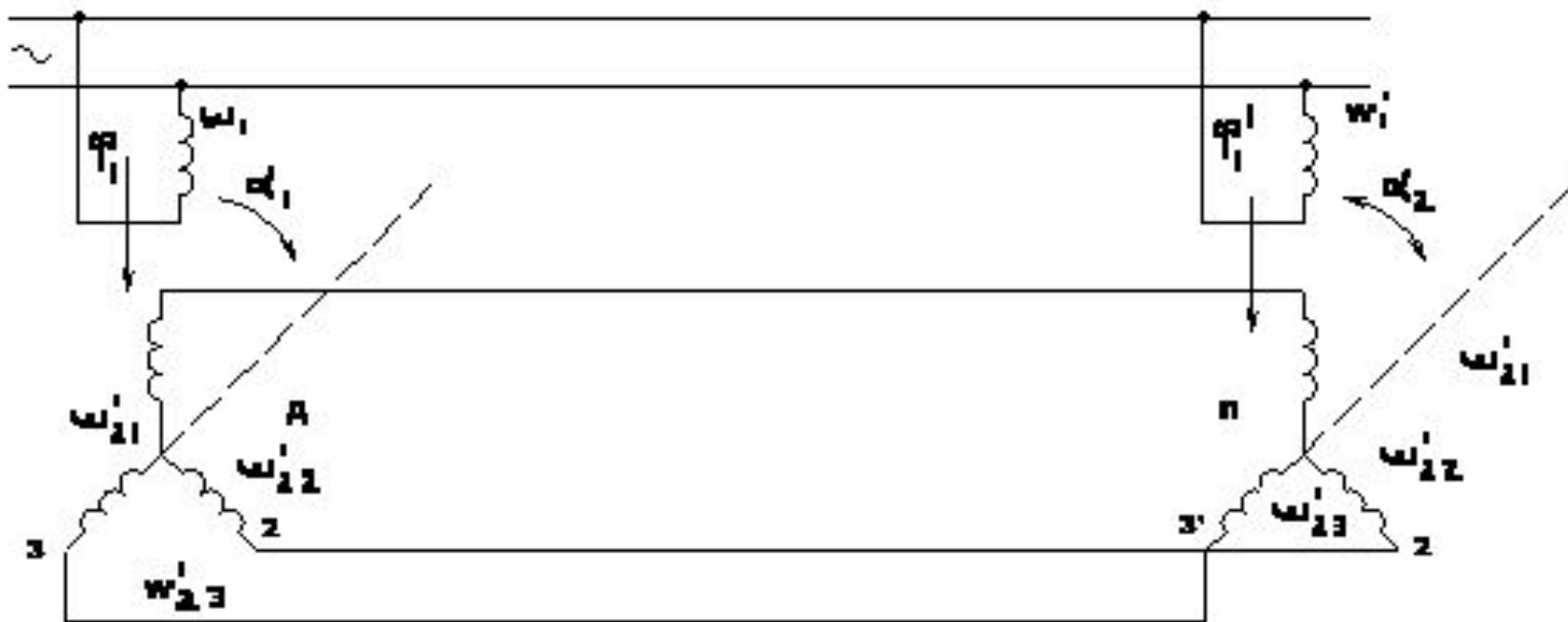


Классификация силовых двигателей систем автоматики



Классификация электрических микромашин автоматики

Индикаторные



Используются в дистанционных системах управления и контроля (телеметрии), в вычислительной технике.

При подключении к сети (\sim) в 1-фазных обмотках «датчика» и «приёмника» создаются пульсирующие магн. потоки Φ_1 и Φ_1' . Пересекая 3-фазные обмотки, эти потоки наводят в них э.д.с. Если $\alpha_1 = \alpha_2$, то разница э.д.с. равна нулю, и уравнительных токов $I_{\text{урав}} = 0$. Если $\alpha_1 \neq \alpha_2$, то возникает разница э.д.с., возникают токи между «датчиком» и «приёмником», на проводники с током действует

Моментные

двигатели

В моментном двигателе ротор поворачивается на угол, составляющий долю одного оборота. В качестве моментного могут применяться различные типы двигателей.

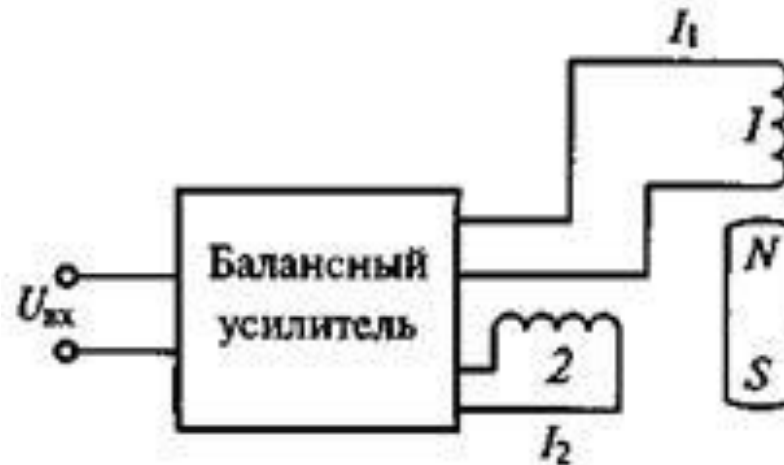


Рис. Схема моментного двигателя с двумя обмотками

(1, 2).

На рисунке 2-фазный синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов – наиболее рациональный вариант конструкции.

При изменении соотношения постоянных токов от $I_1 = \max, I_2 = 0$ до $I_1 = 0, I_2 = \max$, обеспечивается поворот ротора в пределах 90° :

при $I_1 = \max$ ось полюсов ротора совпадает с осью обмотки 1,

при $I_2 = \max$ - с осью обмотки 2. **Обладают повышенным**

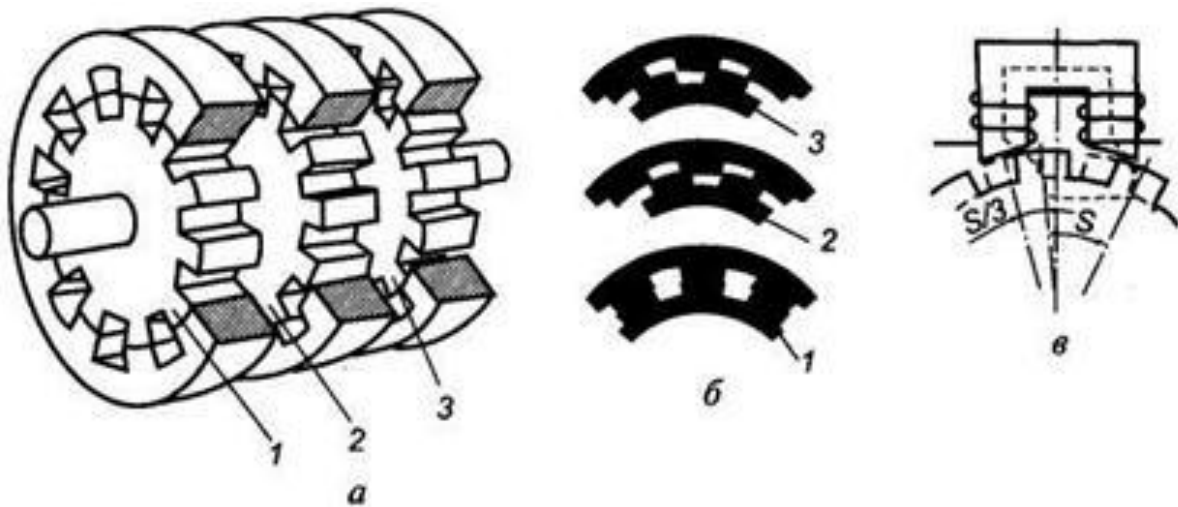
быстродействием

Шаговые исполнительные

двигатели

Шаговый двигатель – это синхронный двигатель с несколькими обмотками, последовательная активация которых обеспечивает перемещение (шаги) ротора.

Схема работы шагового двигателя (ШД)



Ротор шагового двигателя состоит из 2-4 секций (поз. 1, 2, 3). Ротор и статор имеют полюсы (выступы), полюсы секций ротора смещены на $1/3$ шага.

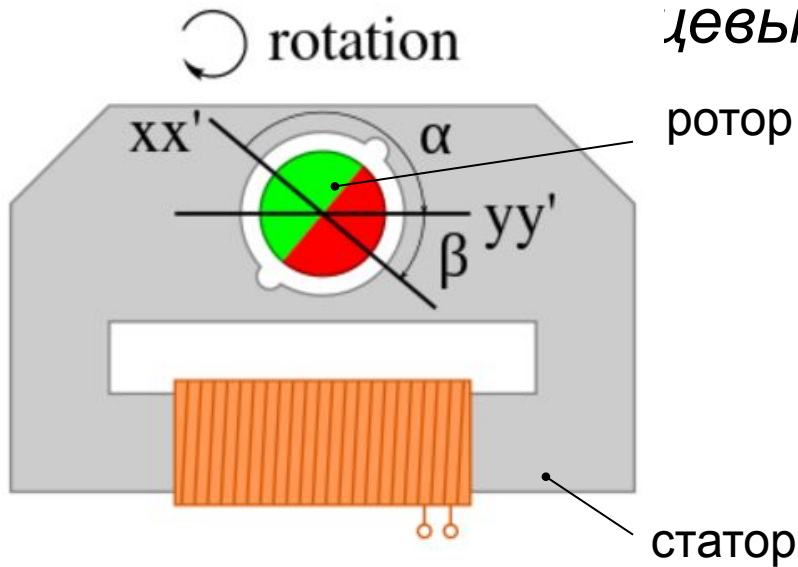
При подаче напряжения на одну из обмоток одна из секций ротора принимает положение наибольшей магнитной проводимости (выступы совмещаются) – ротор ШД поворачивается на угол $\Delta\phi$.

В ШД $\Delta\phi = 1,8^\circ/\text{шаг}$ (200 шаг./оборот) или $\Delta\phi = 0,9^\circ/\text{шаг}$ (400 шаг./оборот).

Точность перемещения (шага) до 5 % от значения шага

Шаговый электродвигатель Лавета

девых часах, в приборах)



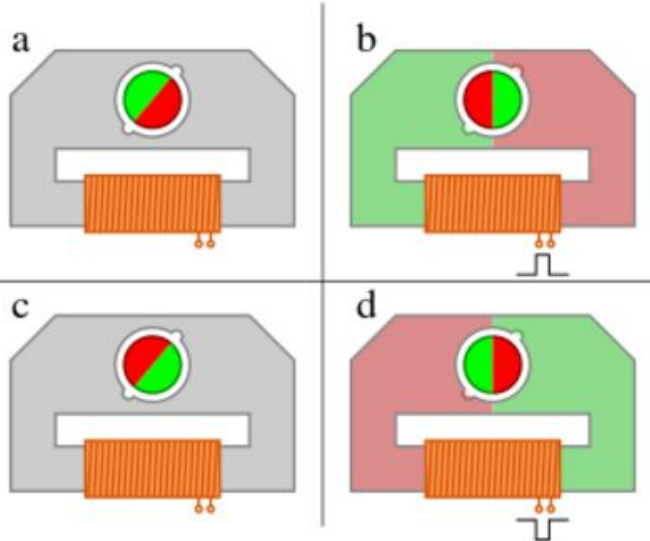
При отсутствии поля на статоре ротор ориентируется благодаря прорезям на статоре (рис. а).

При подаче поля на статор ротор ориентируется по полю статора (рис. b).

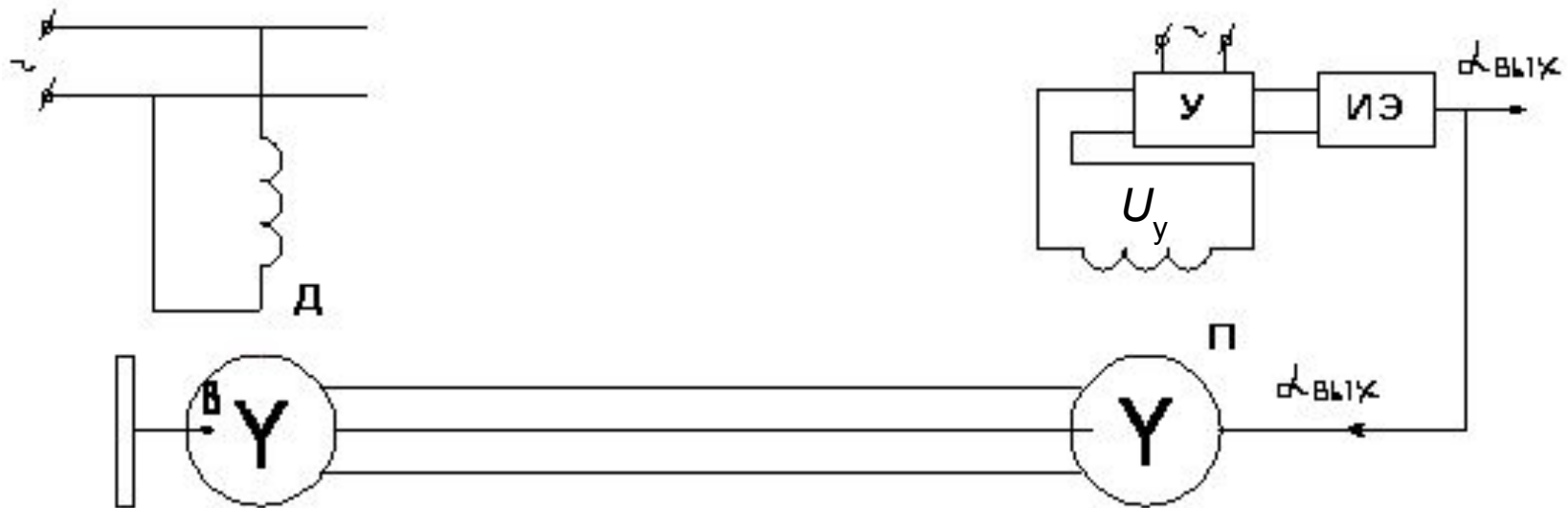
При последующем снятии внешнего поля ротор снова ориентируется по прорезям на статоре, но в новом положении (рис. с).

При последующей подаче внешнего поля (противоположно, чем на рис. b) ротор ориентируется по полю (рис. d).

Имеет малый крутящий момент, но прост в изготовлении.



Трансформаторные



Трёхфазные обмотки роторов двигателя-датчика (Д) и двигателя-приёмника (П) соединены между собой. Однофазная обмотка датчика (Д) подключена к сети (~). Однофазная обмотка приёмника (П) через активный усилитель (У) подключается к исполнительному элементу (ИЭ).

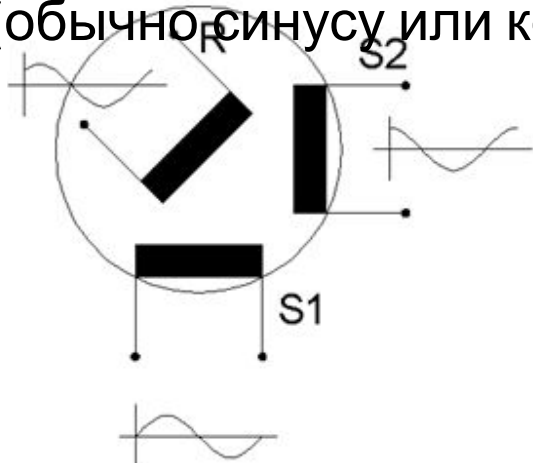
Однофазная обмотка статора датчика (Д) создаёт пульсирующий магнитный поток, который наводит э.д.с. в обмотке ротора датчика (Д). Первоначально в обмотке ротора приёмника (П) отсутствует э.д.с., поэтому под действием э.д.с. датчика (Д) возникает ток, который создаёт магнитный поток. Далее магнитный поток ротора приёмника (П) наводит в однофазной (трансформаторной) обмотке статора приёмника (П) э.д.с.

Значение управляющего напряжения (U_y) пропорционально э.д.с. сельсин-датчика (Д) и углу рассогласования (θ) двух роторов (Д и П):

$$U_y \sim E_D \sin \theta$$

Вращающиеся трансформаторы

Предназначены для преобразования угла поворота в эл. напряжение, амплитуда которого пропорциональна функции угла поворота (обычно синусу или косинусу угла поворота).
(резольверы, аналоговые resolver)



резольвер имеет роторку ~ тока на роторе и две обмотки на статоре (S1 и S2), взаимно перпендикулярные по отношению к магнитному полю.

Питание вращающейся обмотки ротора (R) либо с помощью контактных колец, либо **безконтактно с помощью кольцевого трансформатора** (с возд. зазором между кольцевыми обмотками).

Предназначены для преобразования угла поворота в эл. напряжение, амплитуда которого пропорциональна функции угла поворота.

При включении в сеть обмотки возбуждения ротора (R) в ней появляется ток и магнитный поток возбуждения, который наводит в обмотках статора э.д.с., изменяющуюся по закону синуса (обмотка S1) и по

Тахогенераторы

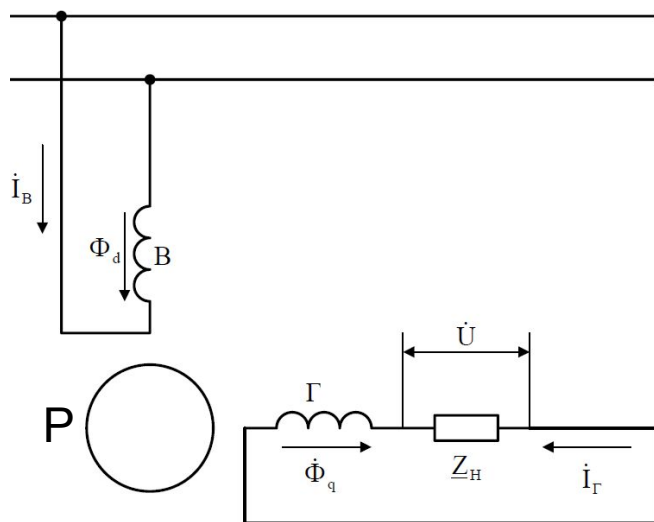
Предназначены для преобразования текущего значения частоты вращения ротора в пропорциональное значение электрического сигнала



Характеризуются «коэффициентом преобразования» S_t , равным отношению выходного напряжения (U_{out}) к частоте вращения (F_{rot}):

$$S_t = U_{out} / F_{rot} \text{ [мВ / об/мин]}$$

Тахогенераторы бывают: асинхронные, синхронные, постоянного тока. Наиболее распространены асинхронные тахогенераторы с полым ротором (АТП):

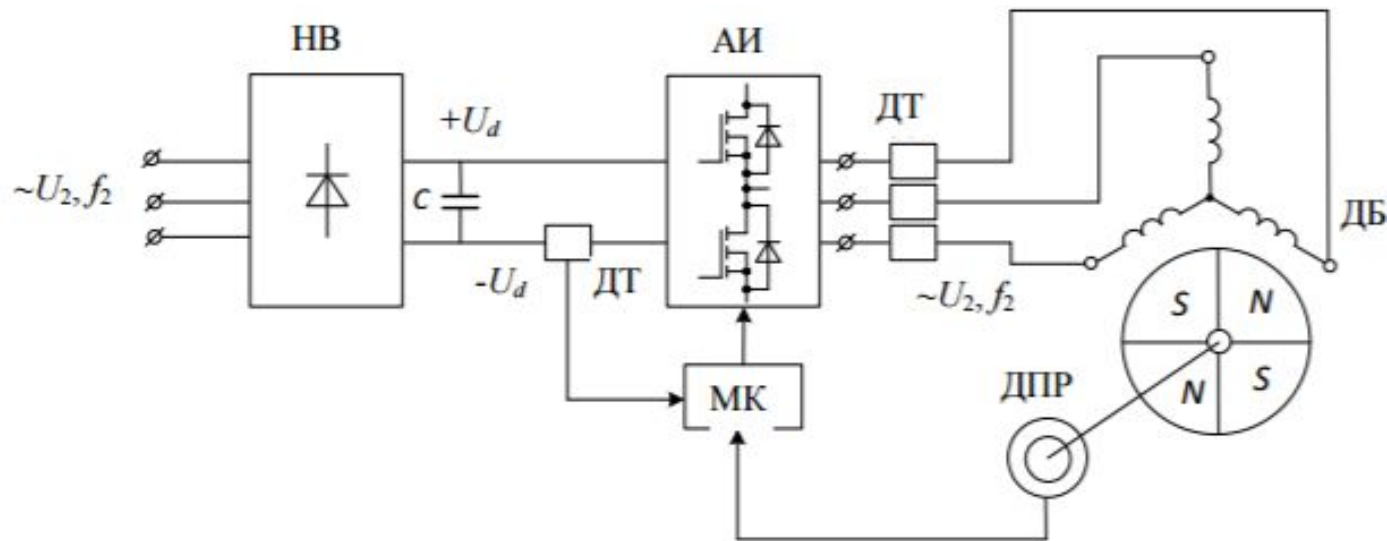


На статоре АТП расположены обмотка возбуждения (В) и генераторная обмотка (Г). В обмотке возбуждения (В) под действием \sim тока (I_B) создается пульсирующий поток (Φ_d). Пульсирующий поток Φ_d наводит в полем роторе (Р) э.д.с. и ток. Ток ротора создает в генераторной обмотке (Г) пульсирующий поток Φ_q , который наводит в генераторной обмотке (Г) э.д.с., в итоге выходное напряжение U .

Вентильные

Это гибридные синхронные ~~двигатели~~ **двигатели** постоянного тока (СДПТ). Аналогично **двигателям постоянного тока** осуществляют коммутацию (по положению ротора) токов в обмотке якоря-статора. Аналогично **синхронным двигателям** имеют m -фазную (обычно $m = 3$) обмотку статора с вращающимся (дискретно) полем; а также постоянное магнитное поле ротора (поле постоянных магнитов, обычно $p = 3$).

СДПТ – по сути, электрический привод с обратной связью, иначе – это не СДПТ, а обычный синхронный двигатель, имеющий иные характеристики.



1 функциональная схема вентильного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов:

HV – неуправляемый выпрямитель; ДТ – датчики тока; AI – автономный инвертор напряжения; ДБ – синхронный электродвигатель с постоянными магнитами; ДПР – датчик положения ротора; МК – микроконтроллер

Рекомендуемая литература

1. Кацман М.М. Электрические машины приборных устройств и средств автоматизации. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
2. Нестерин В.А. Компоненты интеллектуальных мехатронных модулей. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – 305 с.
3. Хрущев В.В. Электрические машины систем автоматизации: Учебник для вузов, 1985. – 368 с.
4. Лифанов В.А. Электрические машины систем автоматизации и бытовой техники: Учебное пособие. – Челябинск: изд. ЮУрГУ