

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

5.1 Общие сведения

- Электрическая машина – электромагнитное устройство, состоящее из статора и ротора и преобразующее механическую энергию в электрическую (генераторы) или электрическую в механическую (электрические двигатели).
- Принцип действия электрических машин основан на законах электромагнитной индукции, Ампера и явлении вращающегося магнитного поля.

- Согласно закону электромагнитной индукции, открытому М. Фарадеем в 1831 г., в проводнике, помещенном в магнитное поле и движущемся относительно него со скоростью наводится ЭДС $\mathcal{E}$, направление которой определяется правилом буравчика или правилом правой руки (рис. 5.1)

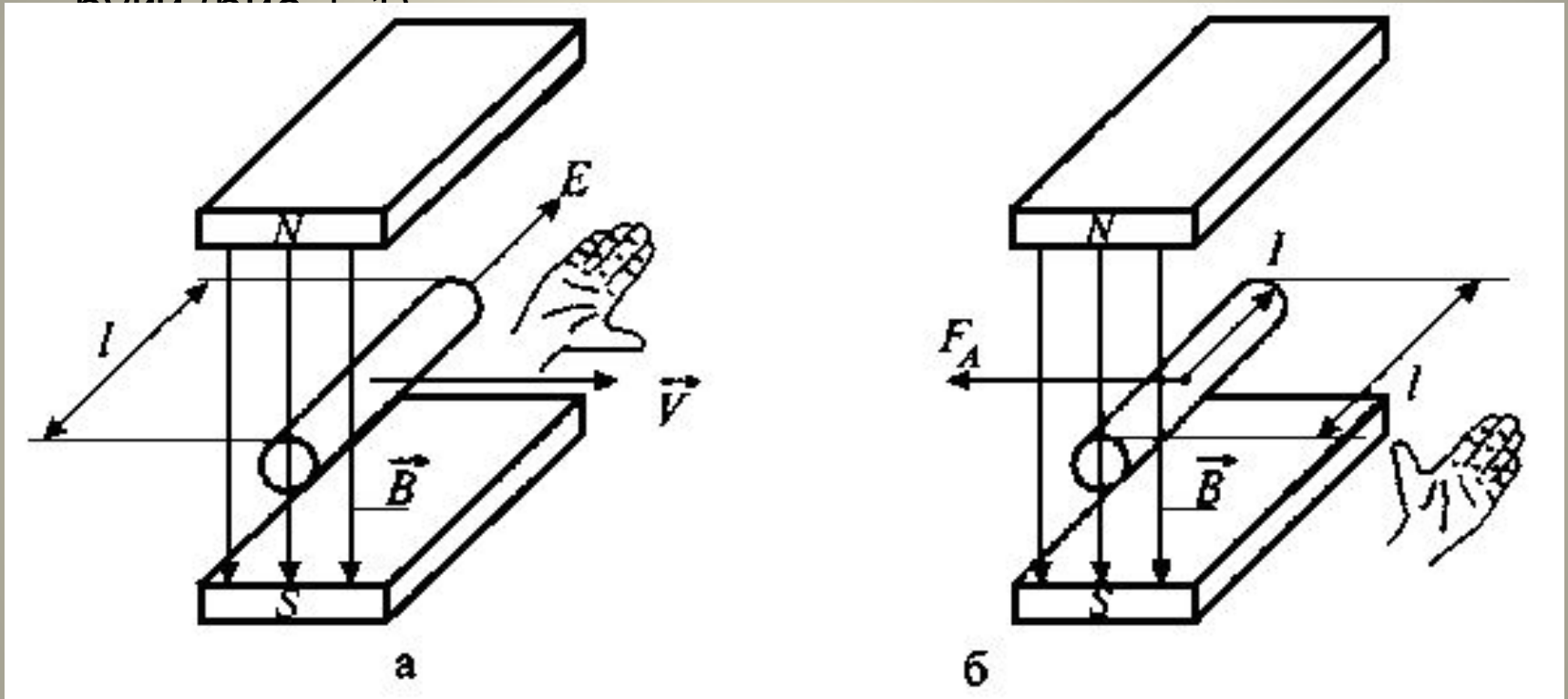


Рис. 5.1. Иллюстрация к закону электромагнитной индукции (а) и закону Ампера (б)

5.2 Вращающееся магнитное поле

- Важным преимуществом трехфазного тока является возможность получения вращающегося магнитного поля, лежащего в основе принципа действия электрических машин – асинхронных и синхронных двигателей

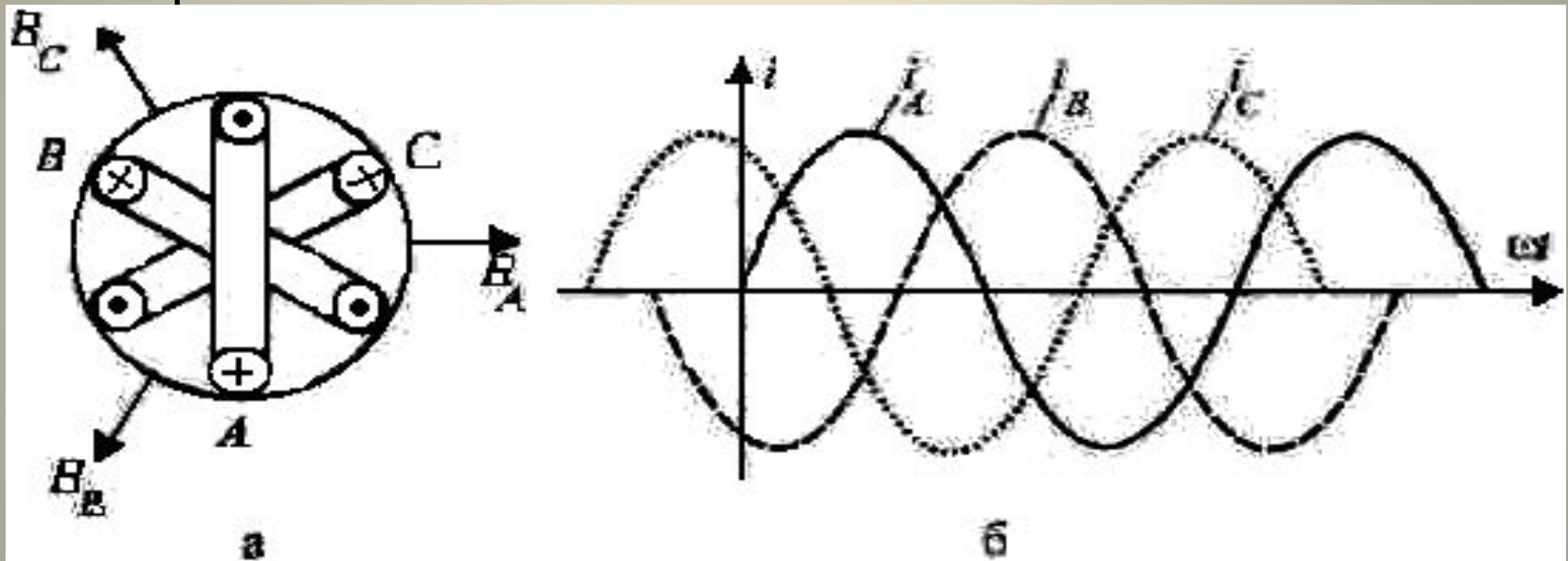


Рис. 5.2. Схема расположения катушек при получении вращающегося магнитного поля (а) и волновая диаграмма трехфазной симметричной системы токов, текущих по катушкам (б)

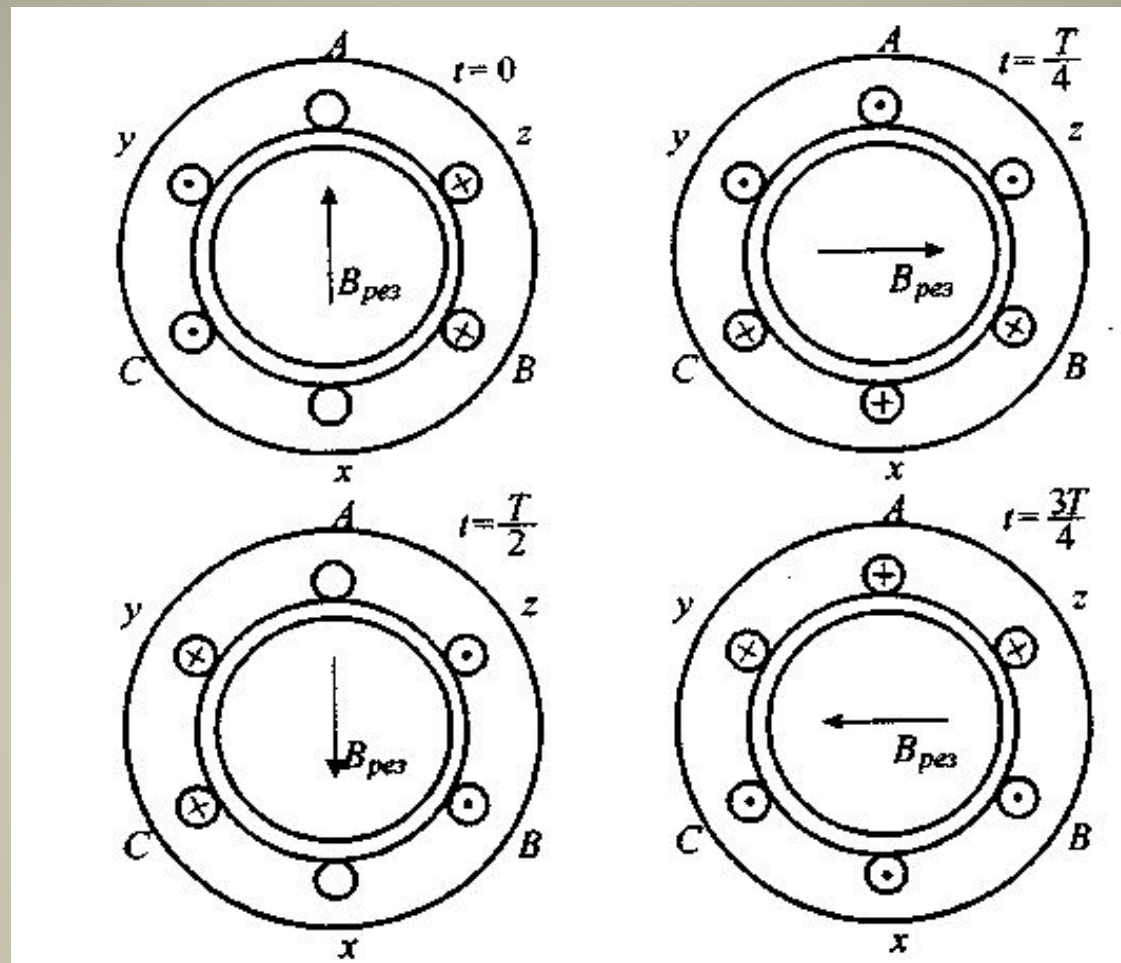


Рис. 5.3. Направление индукции
вращающегося магнитного поля
в различные моменты времени

5.3 Асинхронные машины

5.3.1 Принцип действия асинхронного двигателя (АД).

- Поместим между неподвижными катушками (рис.5.4) в области вращающегося магнитного поля укрепленный на оси подвижный металлический цилиндр – ротор.
- Пусть магнитное поле вращается «по часовой стрелке», тогда цилиндр относительно вращающегося магнитного поля вращается в обратном направлении.
- Учитывая это, по правилу правой руки найдем направление наведенных в цилиндре токов.
- На рисунке 5.4 направления наведенных токов (вдоль образующих цилиндра) показаны крестиками («от нас») и точками («к нам»).
- Применяя правило левой руки (рис. 5.1,б), получаем, что взаимодействие наведенных токов с магнитным полем порождает силы F , приводящие во вращательное движение ротор в том же направлении, в каком вращается магнитное поле.

- Слово «асинхронный» (греч.) означает неодновременный. Этим словом подчеркивается различие в частотах вращающегося магнитного поля и ротора –

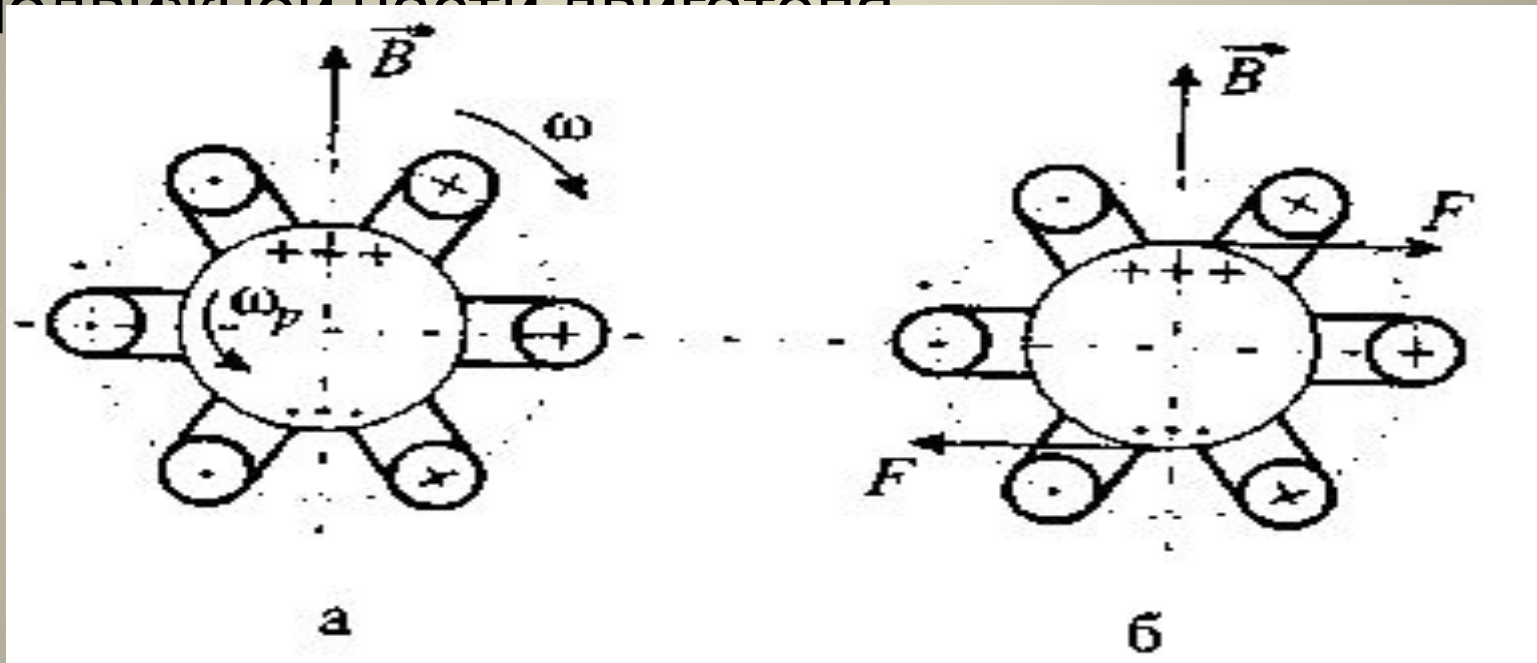


Рис. 5.4. К принципу действия асинхронного двигателя

- Вращающееся магнитное поле, создаваемое тремя катушками, имеет два полюса и называется *двухполюсным вращающимся магнитным полем* (одна фаза полюсов).
- За один период синусоидального тока двухполюсное магнитное поле делает один оборот. Следовательно, при стандартной частоте $f_1 = 50$ Гц это поле делает три тысячи оборотов в минуту. Скорость вращения ротора немногим меньше этой синхронной скорости.
- В тех случаях, когда требуется асинхронный двигатель с меньшей скоростью, применяется многополюсная обмотка статора, состоящая из шести, девяти и т.д. катушек. Соответственно вращающееся магнитное поле будет иметь две, три и т.д. пары полюсов.

5.3.2 Устройство асинхронного двигателя.

- Магнитная система (магнитопровод) асинхронного двигателя состоит из двух частей: наружной неподвижной, имеющей форму полого цилиндра (рис. 5.5), и внутренней – вращающегося цилиндра.
- Обе части асинхронного двигателя собираются из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Эти листы для уменьшения потерь на вихревые токи изолированы друг от друга слоем лака.
- Неподвижная часть машины называется *статором*, а вращающаяся – *ротором* (от латинского *stare* – стоять и *rotate* – вращаться).

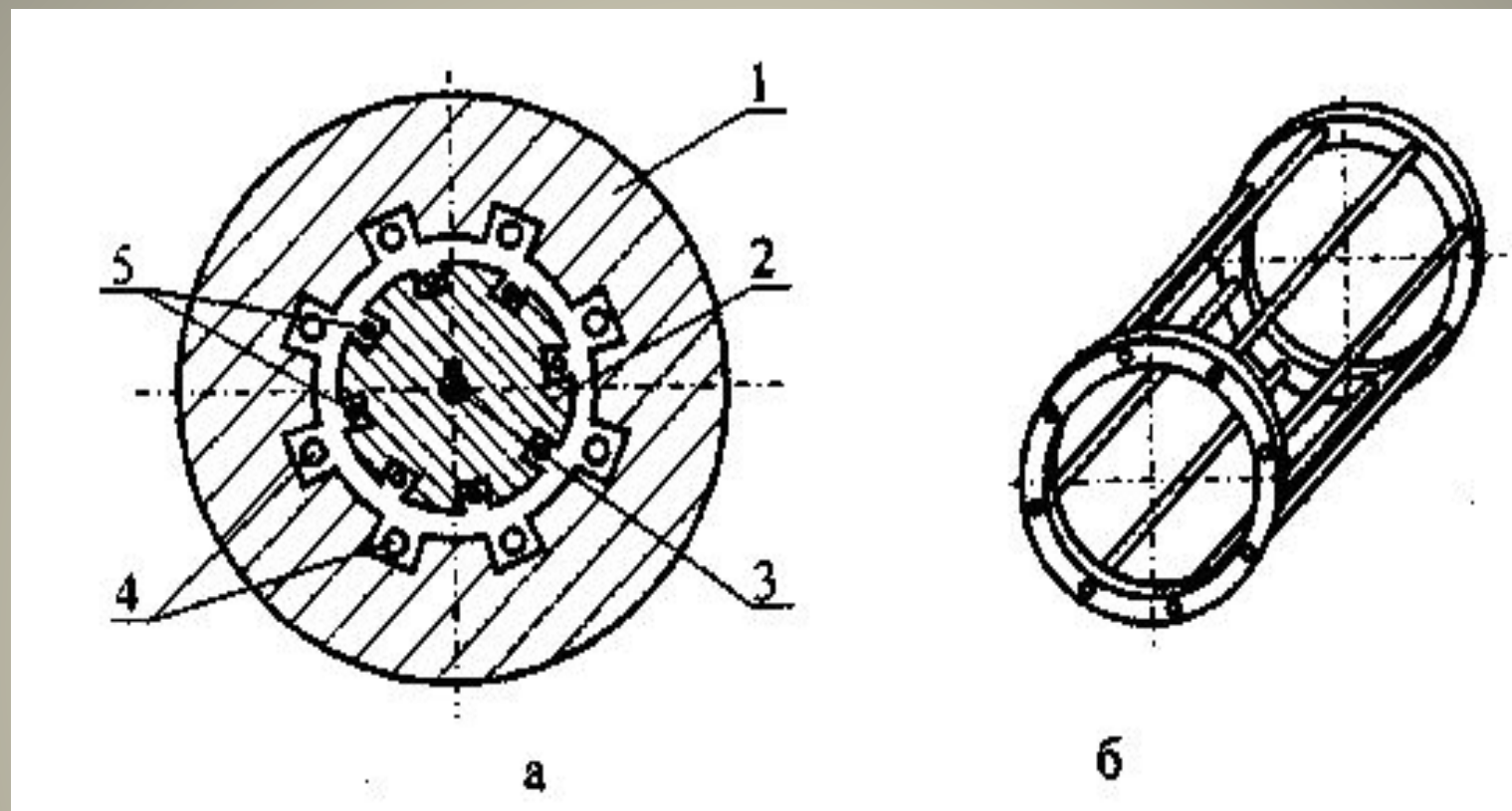


Рис. 5.5. Схема устройства асинхронного двигателя: поперечный разрез (а); обмотка ротора(б): 1 – статор; 2 – ротор; 3 – вал; 4 – витки обмотки статора; 5 – витки обмотки ротора

- В пазах с внутренней стороны статора уложена трехфазная обмотка, токи которой возбуждают вращающееся магнитное поле машины. В пазах ротора размещена вторая обмотка, токи в которой индуктируются вращающимся магнитным полем.
- Магнитопровод статора заключен в массивный корпус, являющийся внешней частью машины, а магнитопровод ротора укреплен на валу.
- Роторы асинхронных двигателей изготавливаются двух видов: короткозамкнутые и с контактными кольцами. Первые из них проще по устройству и чаще применяются.

5.3.4 Контактное управление асинхронными электродвигателями

- Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, как правило, управляются при помощи магнитных пускателей.
- Включение электродвигателя производится непосредственно на полное напряжение, за исключением мощных двигателей, требующих ограничения пускового тока.

- В схеме предусмотрена защита электродвигателя, аппаратов и проводов:
- а) от коротких замыканий при помощи предохранителей 1П и 2П;
- б) от перегрева при длительных тепловых перегрузках электродвигателя при помощи тепловых реле PT , замыкающие контакты которых разрывают при перегрузке электродвигателя цепь питания катушки K ; при этом нагревательные элементы тепловых реле включаются в две фазы электродвигателя
- в) от самопроизвольных повторных включений электродвигателя (нулевая защита): при снижении или исчезновении напряжения в сети электромагнитное усилие катушки K также снизится, что повлечет за собой отпускание якоря контактора и размыкание контактов; повторный пуск электродвигателя после восстановления рабочего напряжения возможен только после нажатия на кнопку «пуск»

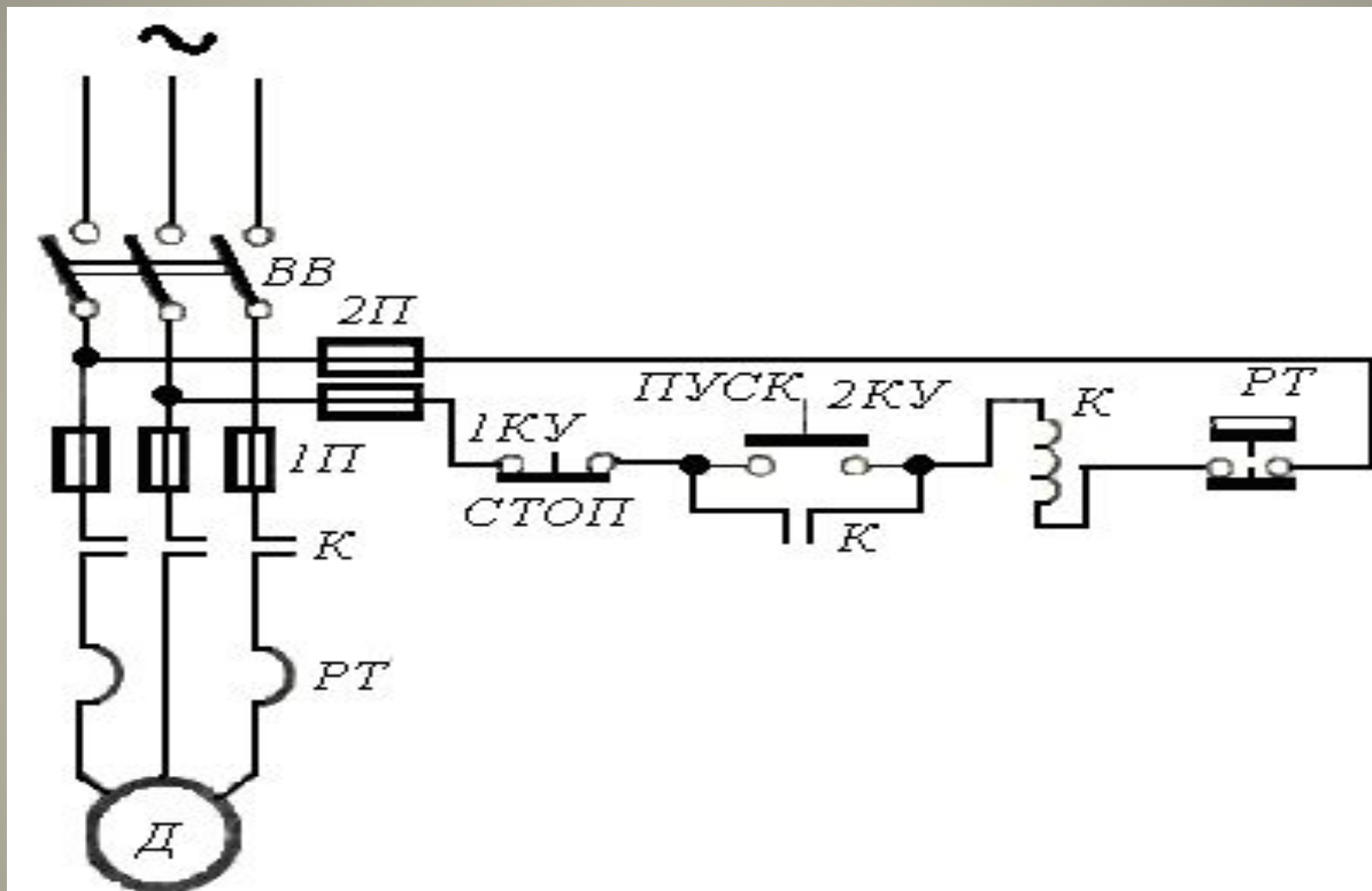


Рис. 5.7. Схема контакторного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором

5.4 Синхронные машины

5.4.1 Назначение и устройство синхронных машин.

- Синхронные машины используются в качестве:
- источников электрической энергии (генераторов);
- электродвигателей;
- синхронных компенсаторов.
- С помощью синхронных трехфазных генераторов вырабатывается электрическая энергия на электростанциях.
- Синхронные генераторы приводятся во вращение:
- на тепловых электростанциях (ТЭЦ, ГРЭС, АЭС и др.) с помощью паровых турбин и называются *турбогенераторами*;
- на гидроэлектростанциях (ГЭС) с помощью гидротурбин и называются *гидрогенераторами*.

- Синхронные генераторы применяются также в установках, требующих автономного источника электрической энергии (автомобильные электрические краны и др.).
- Синхронная машина – электрическая машина, скорость вращения n которой находится в строго постоянном отношении к частоте f сети синусоидального тока, с которой эта машина работает.
- Синхронный компенсатор – синхронный двигатель, работающий вхолостую и дающий в сеть регулируемый реактивный ток, что дает возможность поддерживать высокий $\cos \varphi$ промышленных установок, заменяя громоздкие батареи конденсаторов.

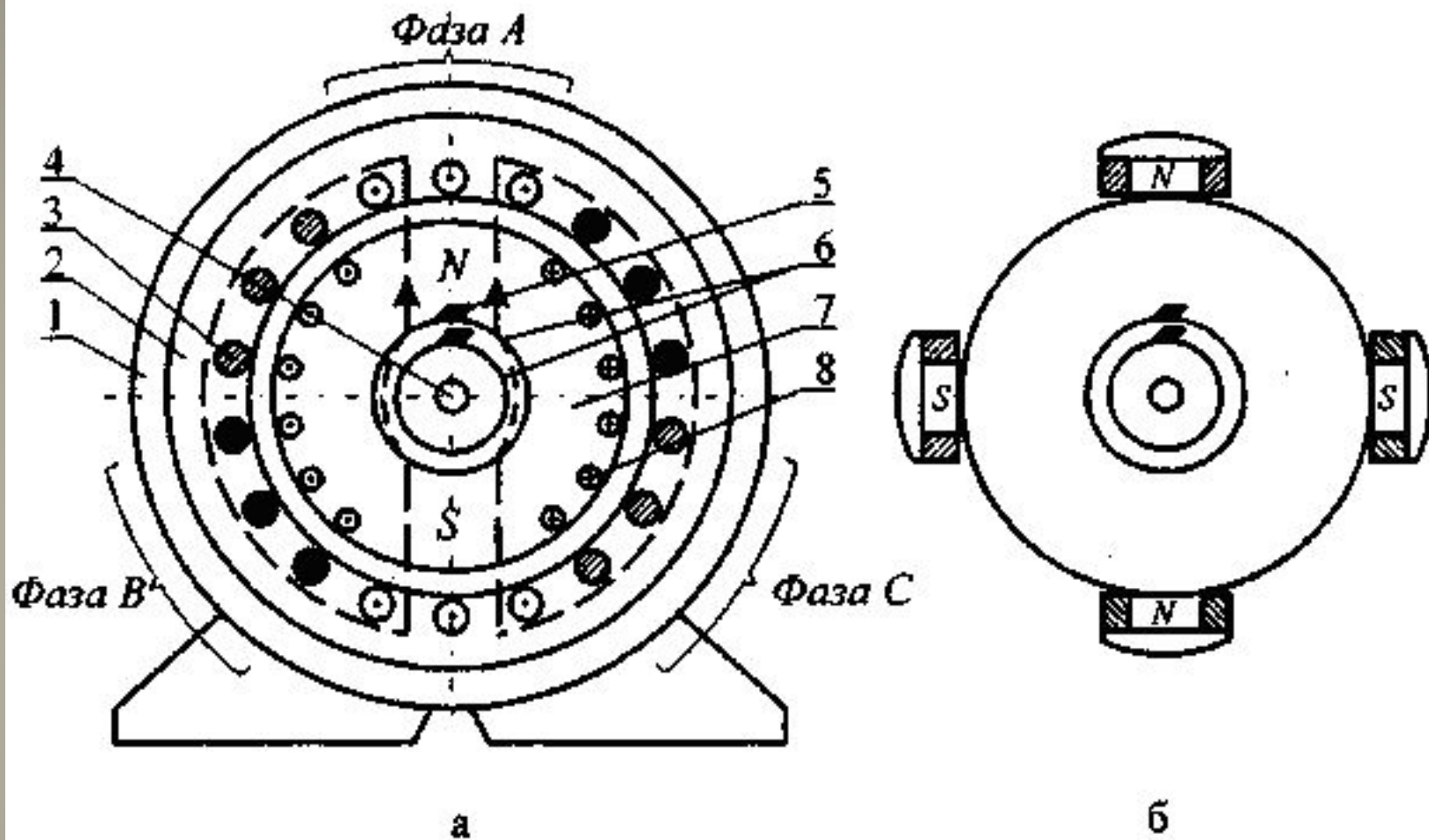


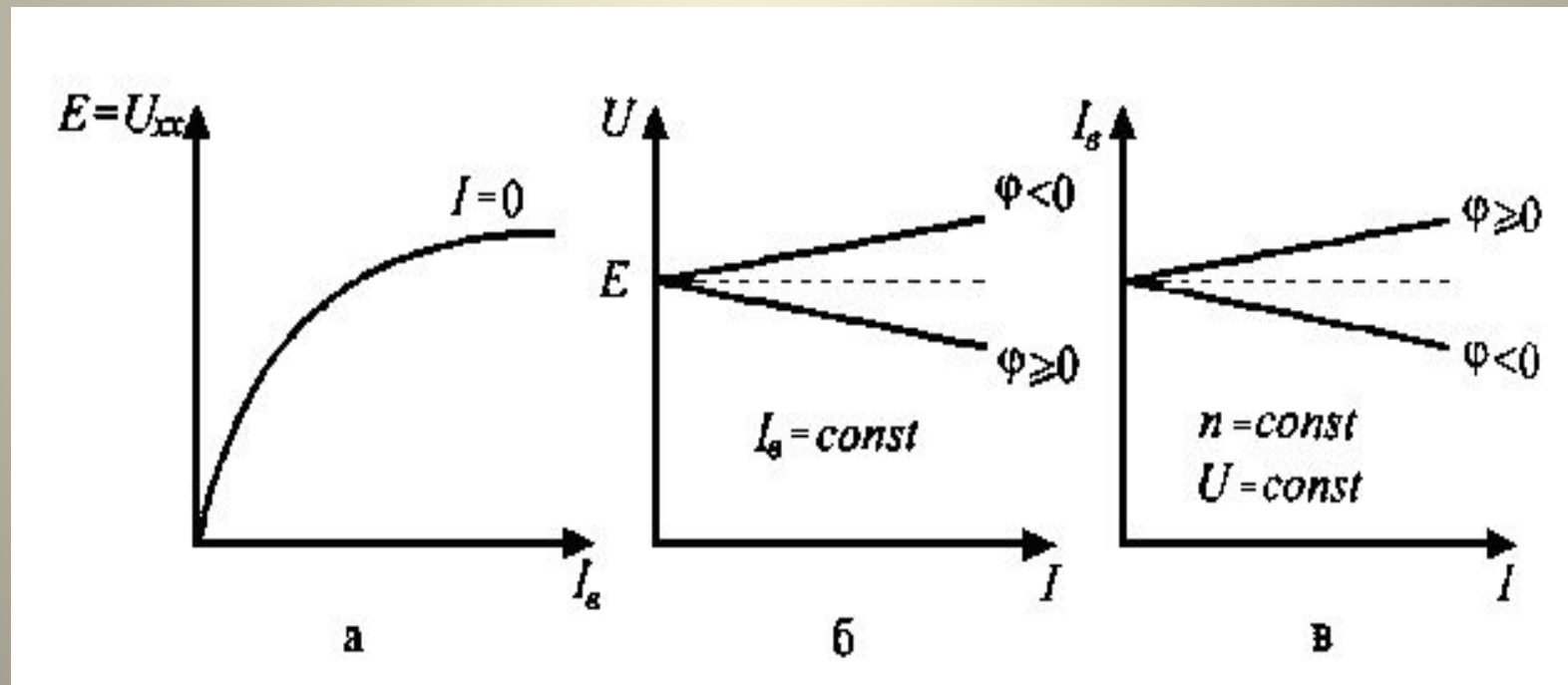
Рис. 5.8. Устройство синхронной машины с неявно выраженными полюсами (а) и ротора машины с явно выраженными полюсами (б).

5.4.2 Принципы действия синхронных машин.

- При подключении обмотки возбуждения синхронной машины к источнику постоянного тока эта обмотка порождает магнитное поле с амплитудным значением магнитного потока
- При вращении ротора с помощью первичного двигателя магнитное поле будет также вращаться.
- В результате этого в трех фазах обмотки статора будут индуцироваться три ЭДС, одинаковые по амплитуде и частоте, сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° , т.е. в обмотках статора генерируется трехфазная симметричная система ЭДС.
- Скорость вращения гидрогенераторов определяется высотой напора воды и для различных станций лежит в пределах от 50 до 750 об/мин, так что генераторы имеют от шестидесяти до четырех пар полюсов.

5.4.3 Основные характеристики синхронных генераторов.

- Важнейшими характеристиками генераторов являются (рис. 5.9):
- характеристика холостого хода;
- внешняя характеристика;
- регулировочная характеристика.



- Характеристика холостого хода показывает, как зависит ЭДС E (напряжение холостого хода U_{xx}) от тока возбуждения I_v .
- Внешняя характеристика – зависимость напряжения на выходе генератора от тока I через него (от тока нагрузки) при
- Внешняя характеристика показывает, как изменяется напряжение на зажимах статорной обмотки генератора при изменении тока нагрузки I .
- Регулировочная характеристика показывает, как следует изменять ток возбуждения I_v при изменении тока нагрузки I , чтобы поддерживать выходное напряжение генератора постоянным.