

Асинхронные машины

- 1. Дуговой двигатель**
- 2. Линейный двигатель**
- 3. Электрические машины синхронной связи**
- 4. Режимы работы АМ**
- 5. Конструктивные формы исполнения АМ**
- 6. Способы охлаждения ЭМ**

Линейные асинхронные двигатели

Подвижная часть линейного двигателя совершает поступательное движение, поэтому применение этих двигателей для привода рабочих машин с поступательным движением рабочего органа позволяет :

упростить кинематику механизмов, уменьшить потери в передачах и повысить надежность механизма в целом .

Для объяснения принципа работы линейного асинхронного двигателя (ЛАД) обратимся к обычному АД (с вращательным движением ротора).

Если статор этого двигателя (рис. 1, а) мысленно «разрезать» и «развернуть» так, чтобы он образовал дугу с углом α (рис. 1, б), то диаметр ротора увеличится. При этом мы получим АД с дуговым статором. Частота вращения (об/мин) магнитного поля статора этого двигателя (синхронная частота):

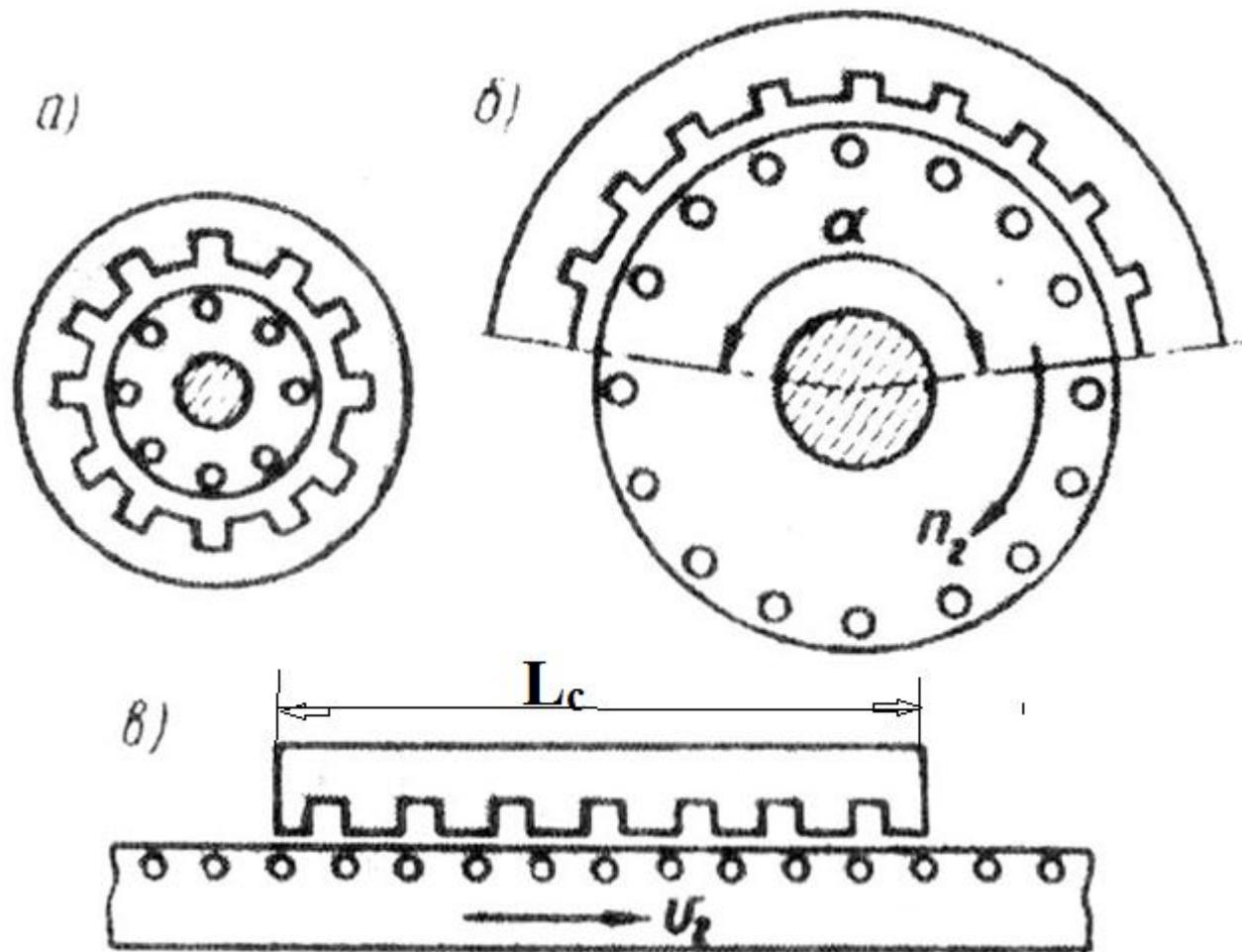
$$n_1 = n_1^0 \alpha / (2\pi) \quad (1)$$

где n_1^0 — синхронная частота вращения обычного (до «разрезания») асинхронного двигателя, об/мин; α — угол дуги статора, рад.

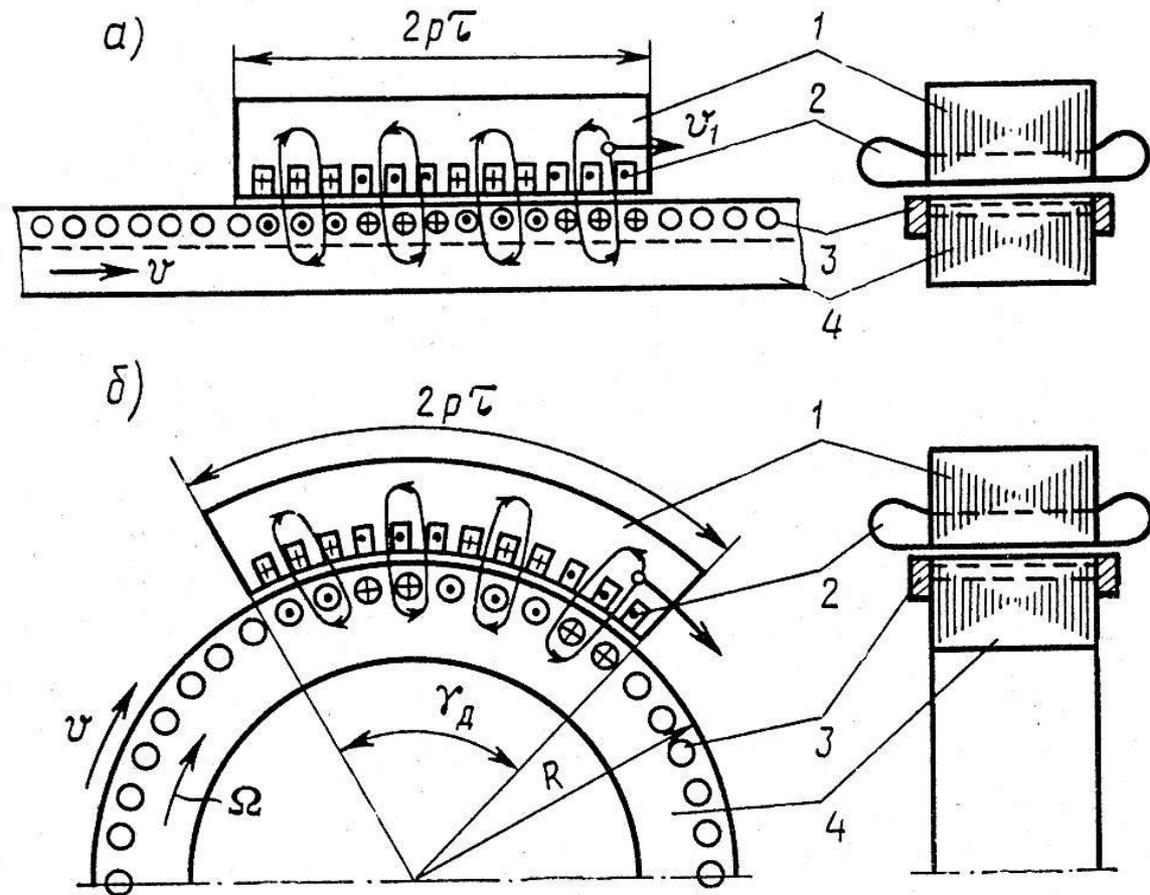
Из (1) следует, что, изменяя угол α , можно получить дуговой асинхронный двигатель на любую синхронную частоту меньше частоты вращения n_1^0 .

Дуговые двигатели применяют для безредукторного привода устройств, требующих небольших частот вращения, исключив применение сложного и трудоемкого редуктора.

Если же «разрезанный» статор развернуть в плоскость, то получим асинхронный линейный двигатель (ЛАД) (рис. 1, в).



**Рис. 1. К понятиям о дуговом и линейном двигателях:
а)обычный АД; б)дуговой АД; в) линейный АД (ЛАД)**



Электромагнитные схемы линейного (а) и дугового (б) асинхронных двигателей

Принципиальное конструктивное отличие ЛАД от асинхронного двигателя с вращательным движением ротора состоит в том, что первичный элемент линейного двигателя (индуктор) создает не вращающееся, а бегущее магнитное поле и нижняя часть двигателя с короткозамкнутой обмоткой (или без нее) называемая вторичным элементом, перемещается вдоль своей оси. Скорость бегущего поля в линейном двигателе (м/с) определяют по зависимости:

$$v_1 = 2\tau f_1 = f_1 L_c / p \quad (2)$$

где f_1 — частота тока в обмотке статора, Гц; τ — полюсное деление; L_c — длина статора (индуктора), м.

Принцип действия ЛАД :

бегущее поле индуктора, сцепляясь с к.з. обмоткой вторичного элемента двигателя, наводит в ней ЭДС. Возникающие в стержнях этой обмотки токи взаимодействуют с бегущим полем индуктора и создают на индукторе и вторичном элементе электромагнитные силы, стремящиеся линейно переместить подвижную часть двигателя относительно неподвижной. В некоторых конструкциях ЛАД подвижной частью является индуктор, а в некоторых — вторичный элемент, называемый в этом случае «бегунком».

Если вторичный элемент ЛАД невозможно изготовить с к.з. обмоткой, то применяют вторичные элементы в виде полосы из меди, алюминия или ферромагнитной стали. Наиболее удовлетворительными получаются характеристики ЛАД при составном вторичном элементе, например,- полоса из ферромагнитной стали, покрытая слоем меди.

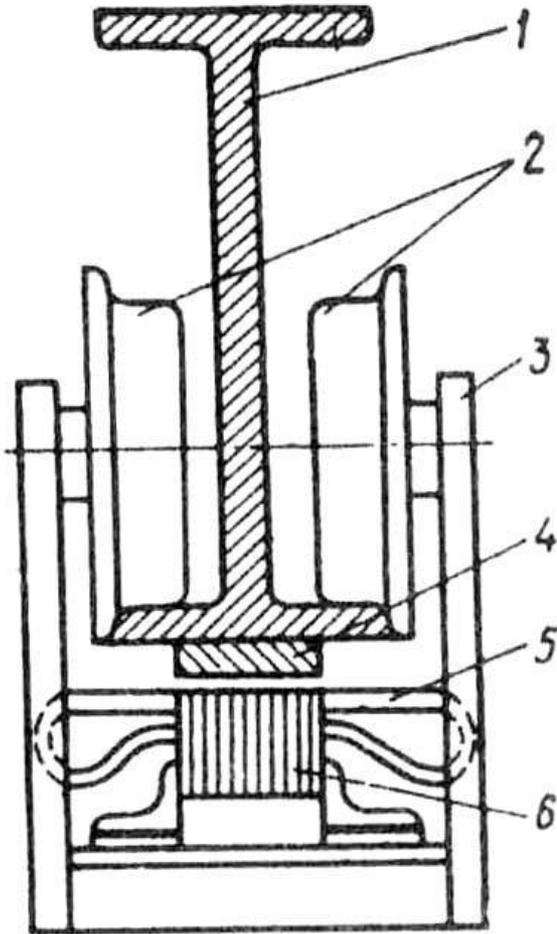
Основной недостаток асинхронных двигателей с разомкнутым статором — дуговых и линейных — явление краевого эффекта, представляющего собой комплекс электромагнитных процессов, обусловленных разомкнутой конструкцией статора.

Нежелательные последствия краевого эффекта – это появление «паразитных» тормозных усилий, направленных против движения подвижной части двигателя, и возникновение поперечных сил, стремящихся сместить подвижную часть двигателя в поперечном направлении.

Кроме того, краевой эффект вызывает ряд других нежелательных явлений, ухудшающих рабочие характеристики линейных двигателей.

Применяют ЛАД для привода заслонок, ленточных конвейеров, подъемно-транспортных механизмов. На рис. 2 показано устройство ЛАД привода тележки подъемного крана.

На тележке 3 расположен индуктор ЛАД, состоящий из шихтованного сердечника 6, в пазах которого расположена обмотка 5. Направляющая для колес 2 представляет собой стальную балку 1, к нижней части которой прикреплена стальная полоса 4 («бегун»). Бегущее магнитное поле индуктора наводит в стальной полосе 4 вихревые токи. Электромагнитные силы, возникающие в результате взаимодействия этих токов с магнитным полем индуктора, перемещают индуктор (тележку) вдоль стальной полосы 4.



**Рис. 2. ЛАД привода тележки
подъемного крана**

ЛАД значительной мощности применяют на транспорте в качестве тяговых двигателей (рис. 3) . Здесь индуктор 2 двигателя подвешен к транспортному средству 1, а стальная полоса 3 установлена вертикально на основании пути между рельсами. В этой конструкции поперечную силу $F_{\text{п}}$, вызванную краевым эффектом, используют полезно, так как она уменьшает силу давления на несущие оси и колеса и, как следствие, уменьшает трение качения.

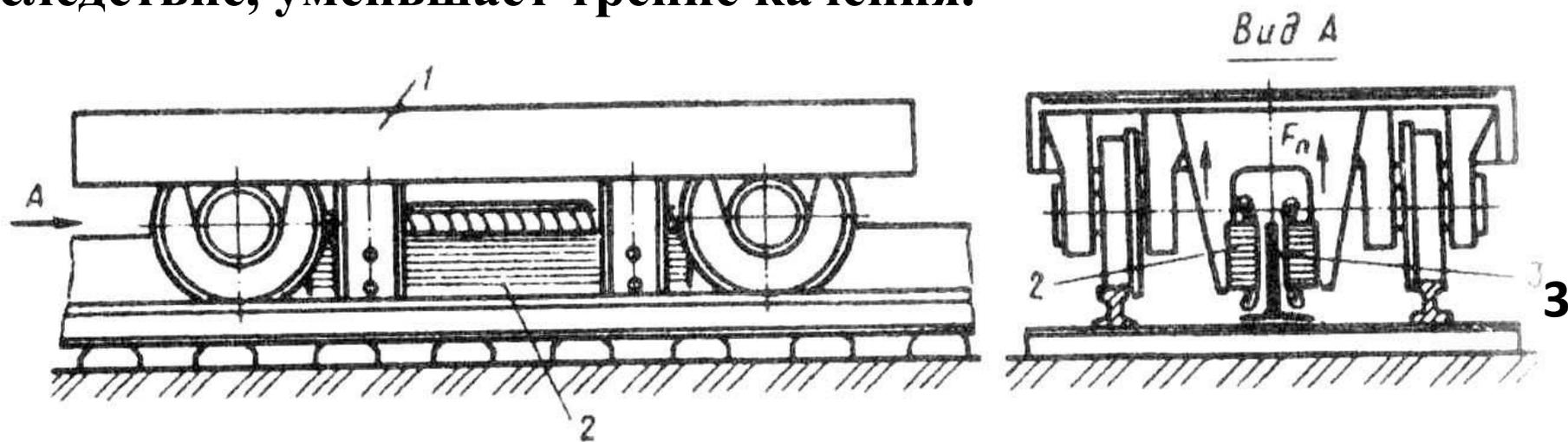


Рис 3. ЛАД привода ж.д. транспортного средства

Понятие сельсины

Вообще словом сельсин называют электрические микромашины переменного тока, обладающие свойством самосинхронизации.

Само слово сельсин произошло от английского словосочетания *self-synchronizing* .

Сельсин передачи работают по принципу обычной механической передачи, только крутящий момент между валами передаётся не зубьями шестерён, а магнитным потоком без непосредственного контакта.

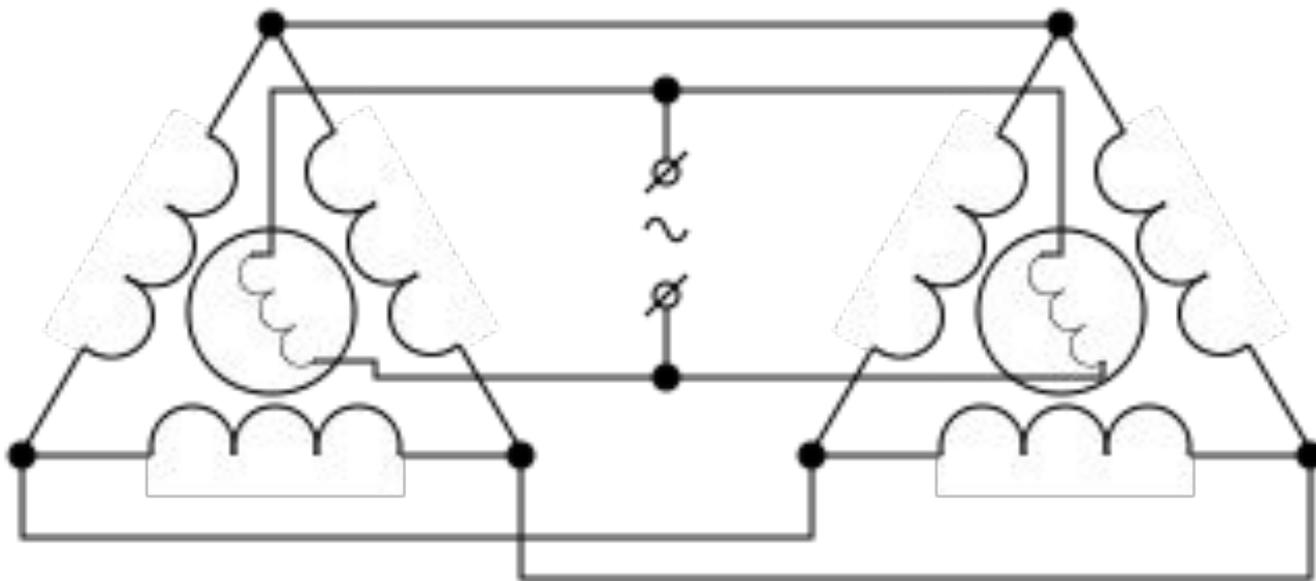
•

.

Простейший сельсин состоит из статора с трёхфазной обмоткой (схема включения — треугольник или звезда) и ротора с однофазной обмоткой. Два таких устройства электрически соединяются друг с другом одноимёнными выводами — статор со статором и ротор с ротором.

На роторы подаётся одинаковое переменное напряжение. При таких условиях вращение ротора одного сельсина вызывает поворот ротора другого сельсина. При повороте одного из сельсинов (сельсин-датчика) на определённый угол в нём наводится [ЭДС](#), отличная от первоначальной. Поскольку сельсины (их [роторы](#)) соединены, то эта же ЭДС будет возникать и во втором сельсине (сельсин-приёмнике) и по правилу левой руки он отклонится от первоначального положения на тот же угол.

Представим себе такую конструкцию: два обыкновенных электродвигателя, но роторы у них сделаны по-хитрому - они содержат обмотку (типа измерительной). Статор этих электродвигателей сделан как обыкновенный трехфазный двигатель: имеет три обмотки. Если включить все обмотки по такой схеме :



То картина у нас получится следующая: поворот ротора в одном из сельсинов (ну пусть, к примеру, на левом) вызовет изменение ЭДС в окружающих его обмотках (по принципу обыкновенного трансформатора), эта самая ЭДС передастся на обмотки другого сельсина и вызовет поворот ротора в нём на тот-же угол

Кстати, сельсины еще иногда называют вращающийся трансформатор.

Зачем вообще нужно такое устройство как сельсин? Обычно он требуется в тех случаях, когда нужно либо передать вращение дистанционно либо следить за вращением.

Примеры применения сельсинов:

В радиолокации: при помощи сельсинов передается угол вращения приемно-передающей антенны. Один устанавливают непосредственно на саму кабину вращения (или антенну, смотря какая антенна), другой - в приемной кабине в индикаторе.

В радиолюбительской связи - когда требуется повернуть антенну на определенный угол дистанционно.

Электрические машины синхронной связи **(сельсины)**

В современной технике часто возникает необходимость в синхронизации вращения или поворота осей механизмов. Эта задача успешно решается с помощью системы синхронной связи (системы слежения).

Синхронной связью называют электрическую связь, которая обеспечивает одновременное вращение или одновременный поворот двух (или более) находящихся на расстоянии друг от друга и механически не связанных валов.

Распространены два вида систем синхронной связи: система «электрического вала» (синхронного вращения) и система «передачи угла» (синхронного поворота).

Системы электрического вала применяют для синхронного (одновременного) вращения нескольких механизмов, имеющих значительные нагрузочные моменты на валу. Для привода таких механизмов применяют обычные асинхронные двигатели с фазным ротором. При этом обмотки роторов электрически соединяют друг с другом, а обмотки статоров включают в общую сеть трехфазного тока.

Системы передачи угла (синхронного поворота) применяют для дистанционного управления или контроля положения в пространстве каких-либо устройств. Обычно такую систему выполняют на небольших асинхронных машинах (однофазных или трехфазных), называемых сельсинами.

Наибольшее применение получили однофазные сельсины. Такой сельсин имеет однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации, соединенную звездой. Одну из обмоток располагают на роторе, а другую — на статоре.

Простейшая синхронная передача, называемая индикаторной, содержит два сельсина: сельсин-датчик (СД) и сельсин-приемник (СП) (рис. 4). При включении обмоток возбуждения в сеть на напряжение U_1 в каждом из сельсинов создается магнитный поток возбуждения Φ . В обмотке синхронизации СД этот поток наводит ЭДС E_d , а в обмотке синхронизации СП - ЭДС E_{II} . Эти ЭДС направлены встречно.

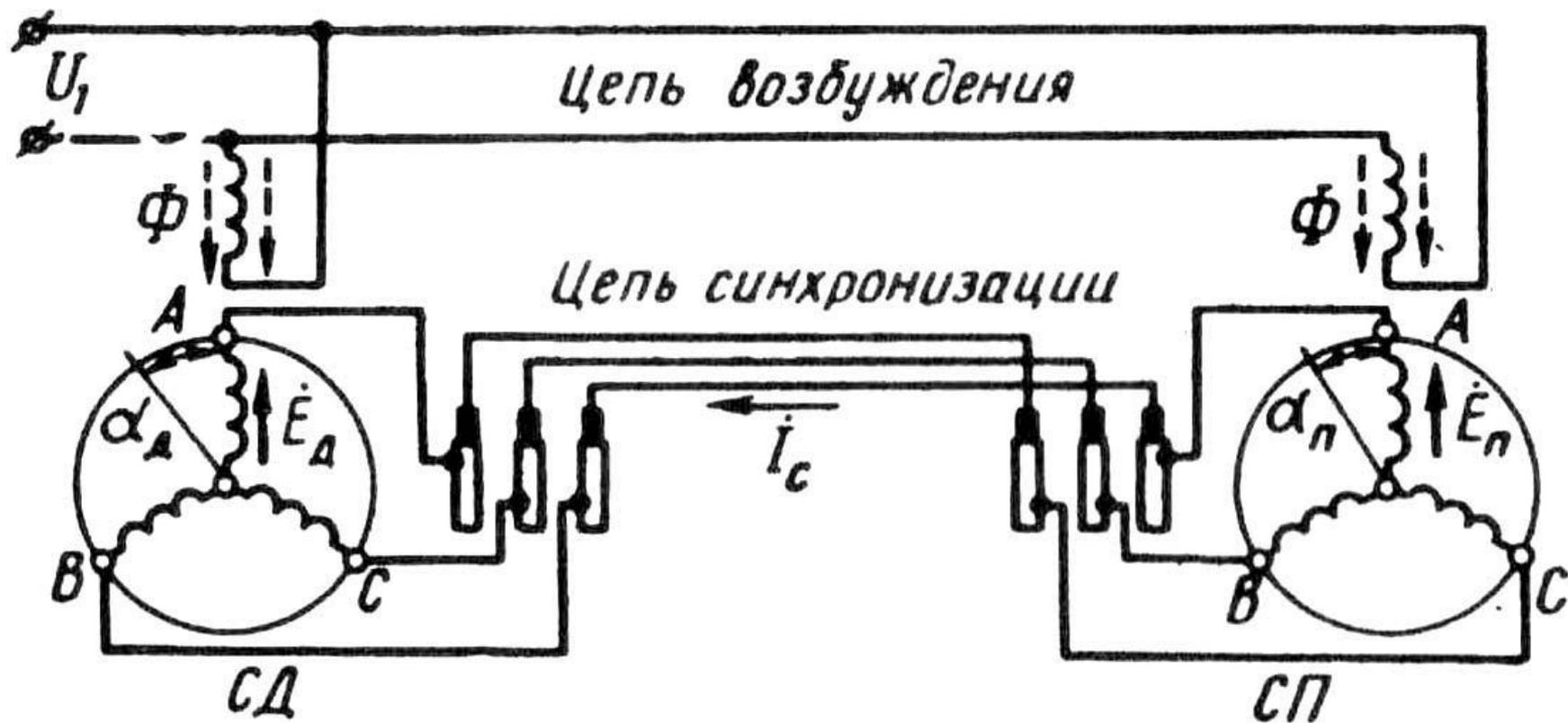


Рис. 4. Схема синхронной передачи

Если роторы СД и СП занимают одинаковые положения относительно своих статоров, то $E_d = E_n$ и система находится в равновесии – тока в общей цепи не будет.

Если же ротор СД повернуть на некоторый угол α_d , то ЭДС в обмотке синхронизации СД изменится, равенство ЭДС нарушится ($E_d \neq E_n$) и в цепи синхронизации появится результирующая ЭДС

$$\Delta \dot{E} = \dot{E}_d + \dot{E}_n$$

которая создаст ток синхронизации

$$I_c = \Delta E / (Z_d + Z_n + Z_l)$$

где Z_d , Z_n и Z_l — сопротивления обмоток синхронизации СД и СП и сопротивление линейных проводов, Ом.

Ток синхронизации датчика взаимодействует с потоком возбуждения и создает на роторе СД электромагнитный момент, направленный встречно повороту ротора датчика, т. е. момент, противодействующий механизму, поворачивающему ротор СД на заданный угол α_d .

Ток синхронизации СП также взаимодействует с магнитным потоком возбуждения и создает электромагнитный момент, направленный в сторону поворота ротора СД. Под действием этого момента, называемого синхронизирующим, ротор приемника совершает поворот на угол $\alpha_n \approx \alpha_d$. После этого ротор СП займет такое же положение относительно статора, что и ротор СД, и в системе опять восстановится равновесие, так как ЭДС E_n и E_d станут одинаковыми. Если ротор СД вновь повернуть на некоторый угол, то этот же угол поворота будет воспроизведен приемником

При вращении ротора датчика ротор приемника также будет вращаться с такой же частотой. Однако угол поворота, установленный СД, воспроизводится ротором СП с некоторой ошибкой — рассогласованием. Для поворота ротора приемника необходимо, чтобы синхронизирующий момент, действующий на этот ротор, преодолел противодействующий момент, обусловленный силами трения в подшипниках и на контактных кольцах, а иногда еще и полезной нагрузкой на валу приемника. Ошибка в воспроизведении угла поворота оценивается углом рассогласования

$$\Theta = \alpha_D - \alpha_n$$

Ротор СП синхронно следует за ротором СД, но угол рассогласования между роторами сельсинов всегда имеется и тем больше, чем больше противодействующий момент на валу СП. Угол рассогласования обычно не превышает $2,5^\circ$, а у сельсинов высокой точности он не более $0,75^\circ$.

Режимы работы асинхронной машины

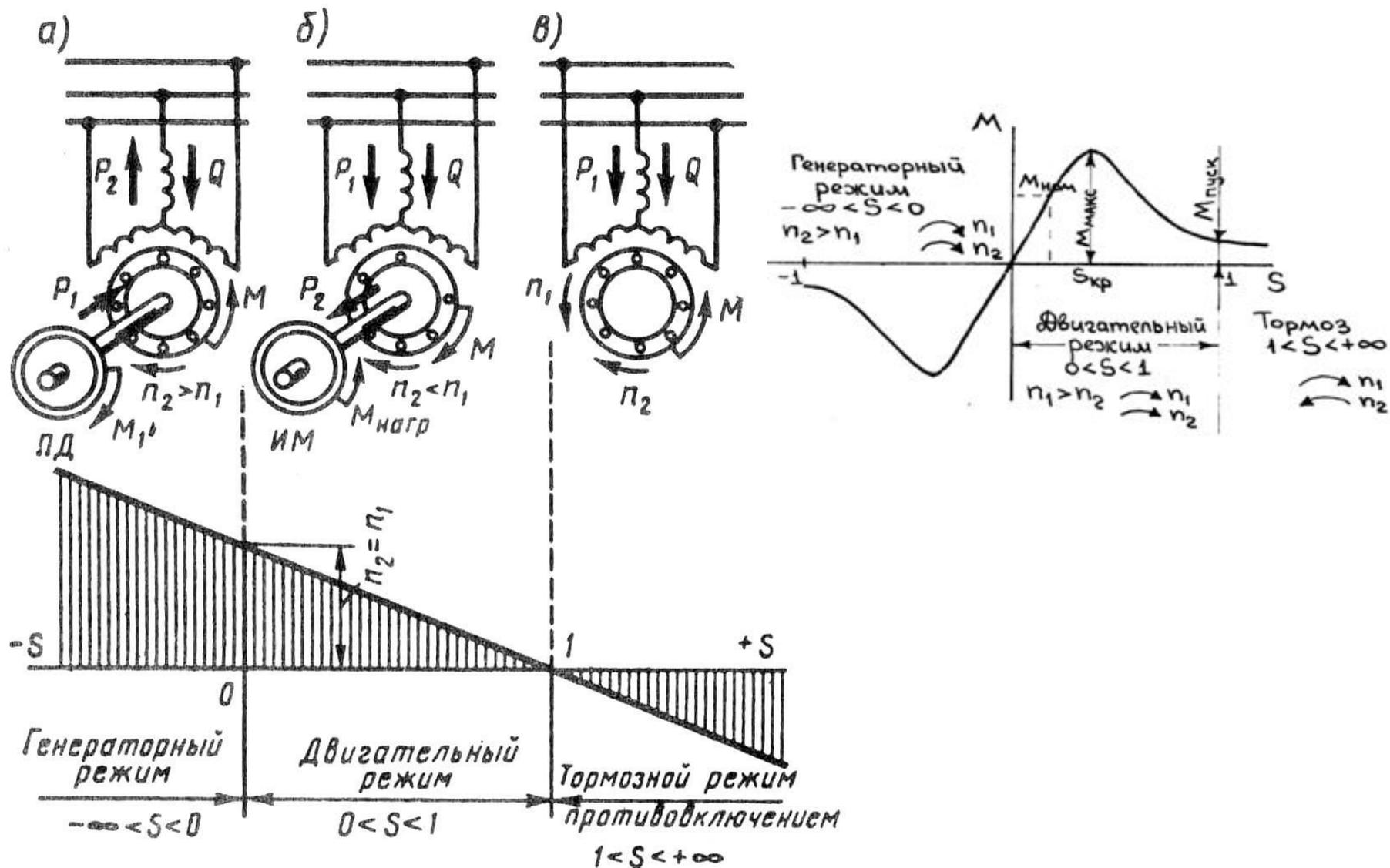


Рис. 5. Режимы работы асинхронной машины

В режиме работы двигателя (рис.5,б) без нагрузки на валу (режим холостого хода) ротор вращается с частотой лишь немного меньшей синхронной частоты вращения n_1 и скольжение весьма мало отличается от нуля ($S \approx 0$).

Скольжение, соответствующее номинальной нагрузке двигателя, называют номинальным скольжением $S_{\text{ном}}$.

Для асинхронных двигателей общего назначения

$S_{\text{ном}} = 1...8\%$, при этом для двигателей большой мощности

$S_{\text{ном}} = 1\%$, а для двигателей малой мощности $S_{\text{ном}} = 8\%$.

Генераторный режим.

Если обмотку статора включить в сеть, а ротор АМ посредством приводного двигателя ПД (двигатель внутреннего сгорания, турбина и т. п.), являющегося источником механической энергии, вращать в направлении вращения магнитного поля статора с частотой $n_2 > n_1$, то направление движения ротора относительно поля статора изменится на обратное (по сравнению с двигательным режимом работы той же машины), так как ротор будет обгонять поле статора. При этом скольжение станет отрицательным, а ЭДС, наведенная в обмотке ротора, изменит свое направление (АМ будет отдавать энергию в сеть).

Электромагнитный момент на роторе M также изменит свое направление, т. е. будет направлен встречно вращающемуся магнитному полю статора и станет тормозящим по отношению к вращающемуся моменту приводного двигателя M_1 (рис. 5, а). В этом случае механическая мощность приводного двигателя в основной своей части будет преобразована в электрическую активную мощность P_2 переменного тока.

Особенность работы асинхронного генератора состоит в том, что вращающееся магнитное поле в нем создается реактивной мощностью Q трехфазной сети, в которую включен генератор и куда он отдает вырабатываемую активную мощность P_2 . Следовательно, для работы асинхронного генератора необходим источник переменного тока, при подключении к которому происходит возбуждение генератора, т. е. в нем возбуждается вращающееся магнитное поле.

Режим торможения противовключением.

Если у работающего трехфазного АД поменять местами любую пару подходящих к статору из сети присоединительных проводов, то вращающееся поле статора изменит направление вращения на обратное.

При этом ротор АД под действием сил инерции будет продолжать вращение в прежнем направлении. Другими словами, ротор и поле статора АД будут вращаться в противоположных направлениях.

В этих условиях электромагнитный момент машины, направленный в сторону вращения поля статора, будет оказывать на ротор тормозящее действие (рис. 5, в).

Этот режим работы АМ называют электромагнитным торможением противовключением.

Активная мощность, поступающая из сети в машину при этом режиме, частично затрачивается на компенсацию механической мощности вращающегося ротора, т. е. на его торможение. В режиме электромагнитного торможения частота вращения ротора является отрицательной, а поэтому скольжение приобретает положительные значения больше единицы:

$$1 < S < +\infty$$

Конструктивные формы исполнения электрических машин

Свойства электрических машин определяются не только их электромеханическими параметрами и формой характеристик.

Прежде всего, ЭМ должна быть:

- безопасной в эксплуатации для обслуживающего персонала,**
- удобной при монтаже,**
- успешно противостоять воздействиям внешних факторов.**

Перечисленные требования учитываются конструктивными формами исполнения ЭМ, которые определяются:

- степенью защиты,**
- способами охлаждения и монтажа,**
- климатическими условиями и**
- местом эксплуатации**

Степень защиты электрических машин обозначают двумя буквами IP - начальные буквы слов International Protection (международная защита) и двумя цифрами (44 или 23).

Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь машины твердых тел.

Вторая цифра обозначает степень защиты от попадания внутрь машины воды.

Для машин напряжением до 1000 В установлено шесть степеней защиты, обозначаемых следующим образом:

0 — защита отсутствует;

1 — защита от случайного соприкосновения большого участка человеческого тела с токоведущими и вращающимися частями;

2 — защита от соприкосновения пальцев человека с токоведущими и вращающимися частями и защита от попадания внутрь машины твердых тел диаметром не менее 12,5 мм;

3 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями инструмента, проволоки и других предметов, толщина которых превышает 2,5 мм; защита от попадания внутрь машины твердых тел диаметром не менее 2,5 мм;

4 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями предметов толщиной более 1 мм и защита от попадания внутрь машины твердых тел толщиной не менее 1 мм;

5 — полная защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и полная защита от вредных отложений пыли внутри машины.

**Существует девять степеней защиты от проникания воды
внутрь машины:**

0 — защита отсутствует;

1 — защита от капель сконденсировавшейся воды, падающих вертикально;

2 — защита от капель воды, падающих под углом не более 15° к вертикали.

3 — защита от дождя, падающего под углом не более 60° к вертикали;

4 — защита от брызг воды любого направления;

5 — защита от водяных струй в любом направлении;

6 — защита от воздействий, характерных для палубы корабля, включая захлестывание морской волной;

7 — защита при погружении в воду в течение времени и давления, указанных в стандарте;

8 — защита при погружении в воду на неограниченное время при давлении указанном в стандарте

Способы охлаждения электрических машин

**По способу охлаждения электрические машины
разделяют на два вида:**

- машины с естественным охлаждением и**
- машины с искусственным охлаждением.**

Естественное охлаждение электрических машин.

**Эти машины не имеют вентиляторов или каких-либо
других устройств, способствующих охлаждению машины.**

**Охлаждение происходит естественным путем за счет
теплопроводности и конвекции.**

Искусственное охлаждение электрических машин.

В этом случае в машинах применяют специальное устройство, обычно вентилятор, создающий движение в машине воздуха, охлаждающего нагретые части машины.

Значительную группу машин с искусственным охлаждением составляют машины с самовентиляцией, у которых вентилятор закреплен на валу машины;

в процессе работы он, вращаясь, создает аэродинамический напор.

Самовентиляция может быть наружной и внутренней.

При наружной самовентиляции воздухом обдувается внешняя поверхность корпуса статора. Машина в этом случае имеет закрытое исполнение с ребристой поверхностью (для увеличения поверхности охлаждения) (рис.9.а).

При внутренней самовентиляции в корпусе и подшипниковых щитах машины делают специальные отверстия, через которые из окружающей машину среды воздух проникает внутрь машины, охлаждает ее, а затем выбрасывается наружу (рис.6 и рис.9,б)..

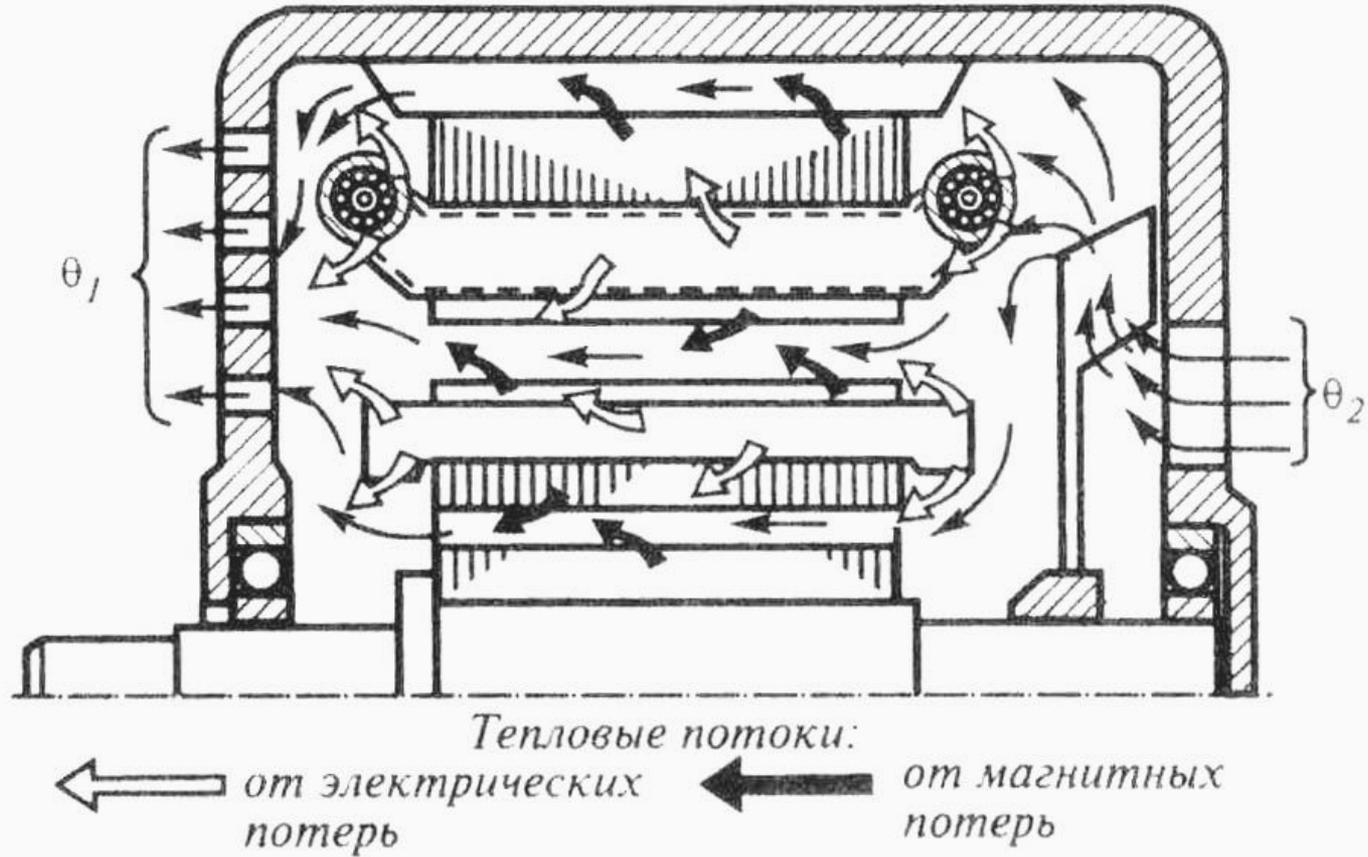


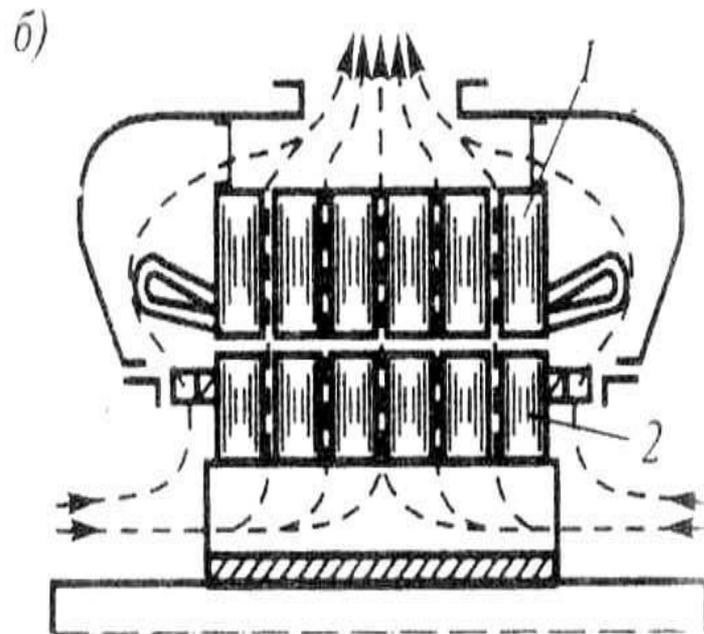
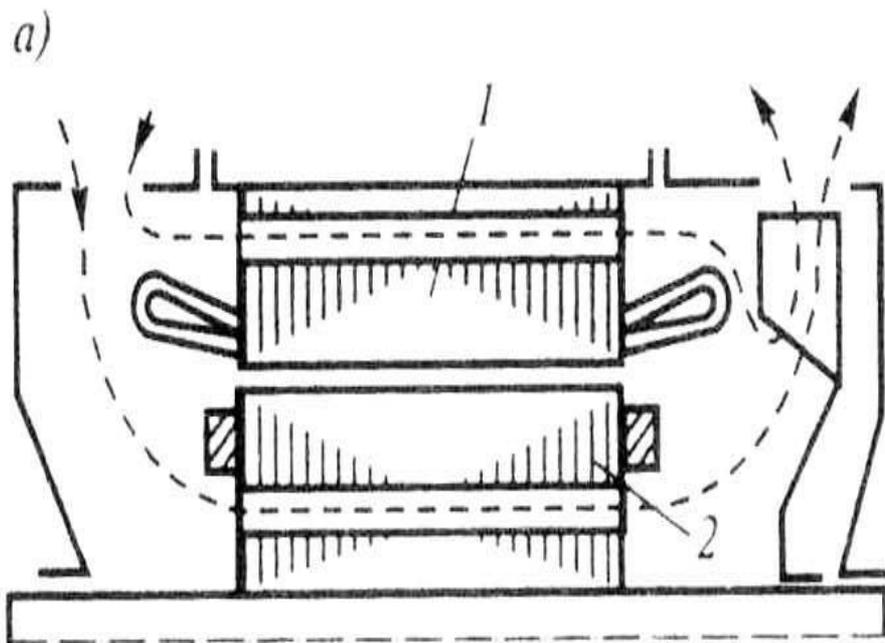
Рис. 6. Принцип внутренней самовентиляции электрической машины

Для более эффективного охлаждения в магнитопроводе некоторых электрических машин делают вентиляционные каналы, через которые проходит охлаждающий воздух.

Вентиляционные каналы называют аксиальными, если они расположены параллельно оси ротора, и радиальными, если они расположены перпендикулярно этой оси.

Вентиляцию, при которой охлаждающий воздух перемещается вдоль оси машины, называют аксиальной (рис. 7, а).

Если же воздух перемещается перпендикулярно оси машины по радиальным каналам, то вентиляцию называют радиальной (рис. 7,б).



**Рис.7. Аксиальная (а) и радиальная (б) системы вентиляции:
1 — статор; 2 — ротор**

Конструктивные формы исполнения по степени защиты увязаны со способами охлаждения и с высотой оси вращения.

За высоту оси вращения машины принимают расстояние от оси вращения вала до опорной плоскости лап (рис.8).

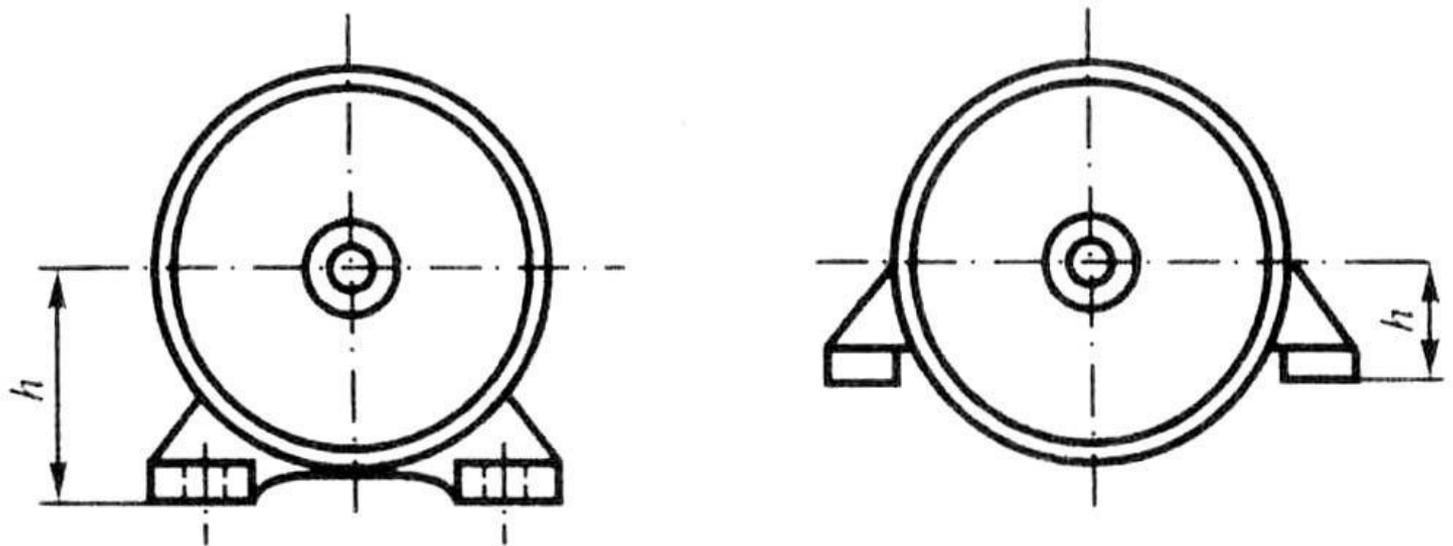


Рис.8. Высота оси вращения электрической машины

Серии трехфазных асинхронных двигателей

Серия трехфазных асинхронных двигателей 4А охватывает диапазон мощностей от 0,06 до 400 кВт.

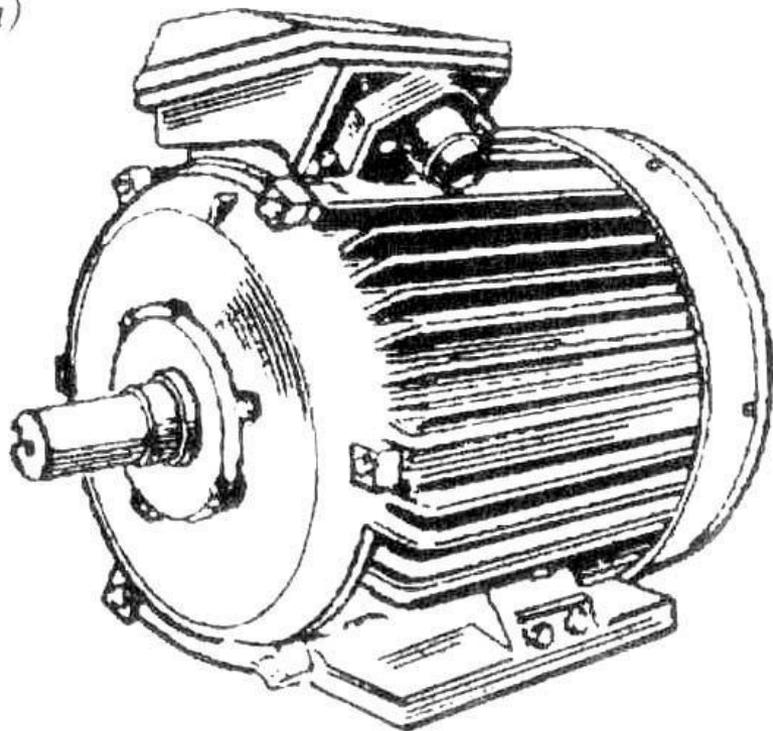
В основу разделения двигателей на типоразмеры положен конструктивный параметр - высота оси вращения h (см. рис. 8).

Двигатели серии 4А изготавливают с высотой оси вращения 50,56,63, 71,80,90, 100, 112, 132, 160, 180,200,225, 250, 280,315 и 355 мм.

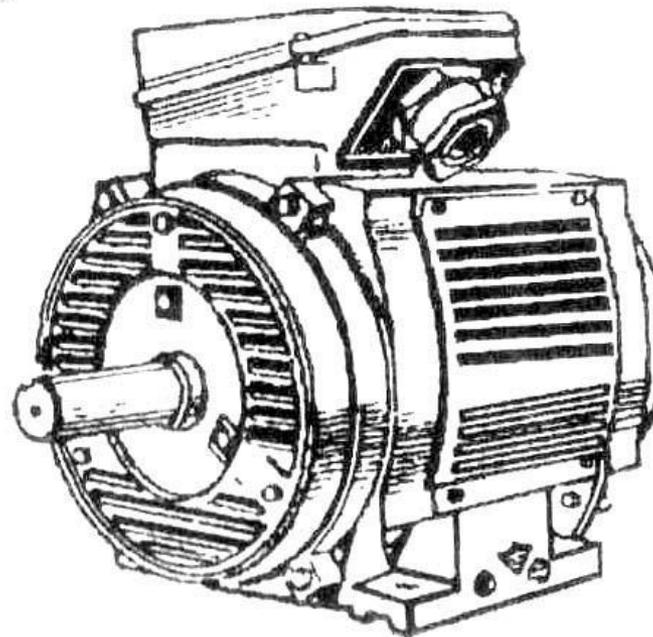
Двигатели каждой высоты оси вращения выполняют двух типоразмеров с разной длиной пакетов сердечников, но одинаковым штампом их пластин.

Двигатели изготавливают на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 об/мин .

a)



б)



**Рис. 9. Асинхронные двигатели серии 4А:
а — закрытого обдуваемого исполнения, б — защищенного
исполнения**

Двигатели серии 4А изготавливают в двух исполнениях:

1. закрытое обдуваемое (рис. 9, а) и

2. защищенное с внутренней самовентиляцией (рис. 9, б).

Двигатели закрытого исполнения всего диапазона высот осей вращения изготавливают с к.з. ротором, а при высоте оси вращения 200, 225 и 250 мм — еще и с фазным ротором (4АК).

Двигатели защищенного исполнения изготавливают с к.з. ротором (4АН) при высоте оси вращения $h > 160$ мм, а при высоте оси вращения $h > 200$ мм еще и с фазным ротором (4АНК).

Пример расшифровки типоразмера АД:

Обозначение типоразмера двигателя серии 4А, например, 4АН280М2УЗ, расшифровывается следующим образом:

4 — порядковый номер серии,

А — вид двигателя (асинхронный),

Н — защищенный (отсутствие данного знака означает закрытое обдуваемое исполнение),

280 — высота оси вращения (три или две цифры), мм,

S, M или L - установочный размер по длине станины,

2 (или 4, 6, 8, 10, 12) — число полюсов,

УЗ — климатическое исполнение (У) и категория размещения (З).