

## **Про генераторы и электродвигатели для чайников**

Апрель 2016 г.

### **Как устроены и работают генераторы**

Термин «генерация» в электротехнику пришел из латинского языка. Он обозначает «рождение». Применительно к энергетике можно сказать, что генераторами называют технические устройства, занимающиеся выработкой электроэнергии.

При этом надо оговориться, что производить электрический ток можно за счет преобразования различных видов энергии, например:

- химической;
- световой;
- тепловой и других.

Исторически сложилось так, что генераторами называют конструкции, которые преобразуют кинетическую энергию вращения в электричество.

По виду вырабатываемой электроэнергии генераторы бывают:

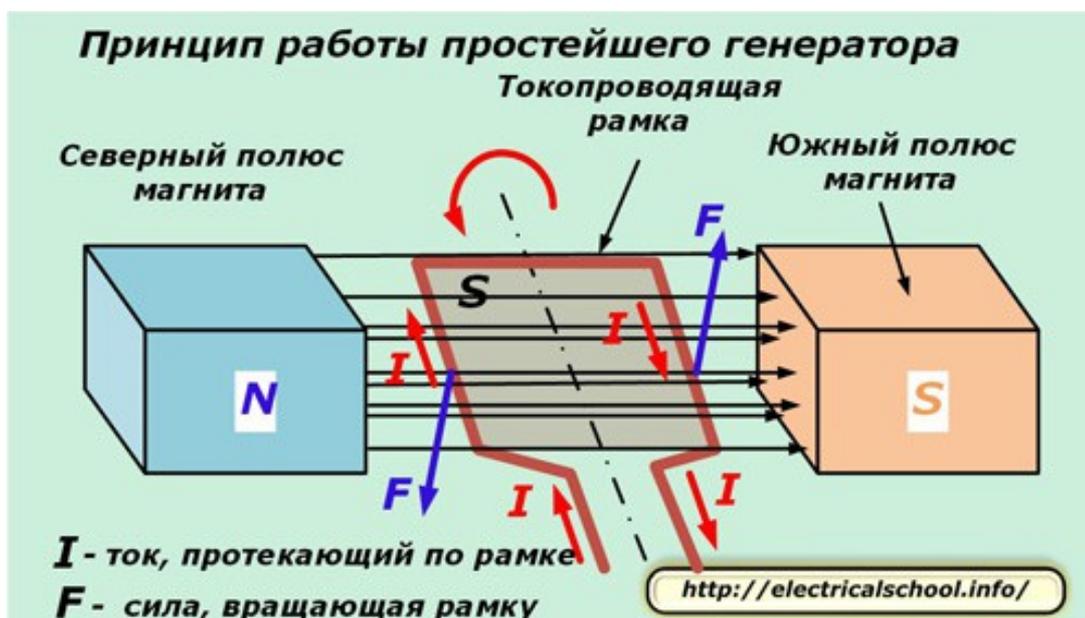
1. постоянного тока;

2. переменного.

## Принцип работы простейшего генератора

Физические законы, которые позволяют создавать современные электрические установки для выработки электроэнергии за счет преобразований механической энергии, открыты учеными Эрстедом и Фарадеем.

В конструкции любого генератора реализуется [принцип электромагнитной индукции](#), когда происходит наводка электрического тока в замкнутой рамке за счет пересечения ее вращающимся магнитным полем, которое создается постоянными магнитами в упрощенных моделях бытового использования или обмотками возбуждения на промышленных изделиях повышенных мощностей.



При вращении рамки изменяется величина магнитного потока.

Электродвижущая сила, наводимая в витке, зависит от скорости изменения магнитного потока, пронизывающего рамку в замкнутом контуре  $S$ , и прямо пропорциональна его значению. Чем быстрее осуществляется вращение ротора, тем выше величина вырабатываемого напряжения.

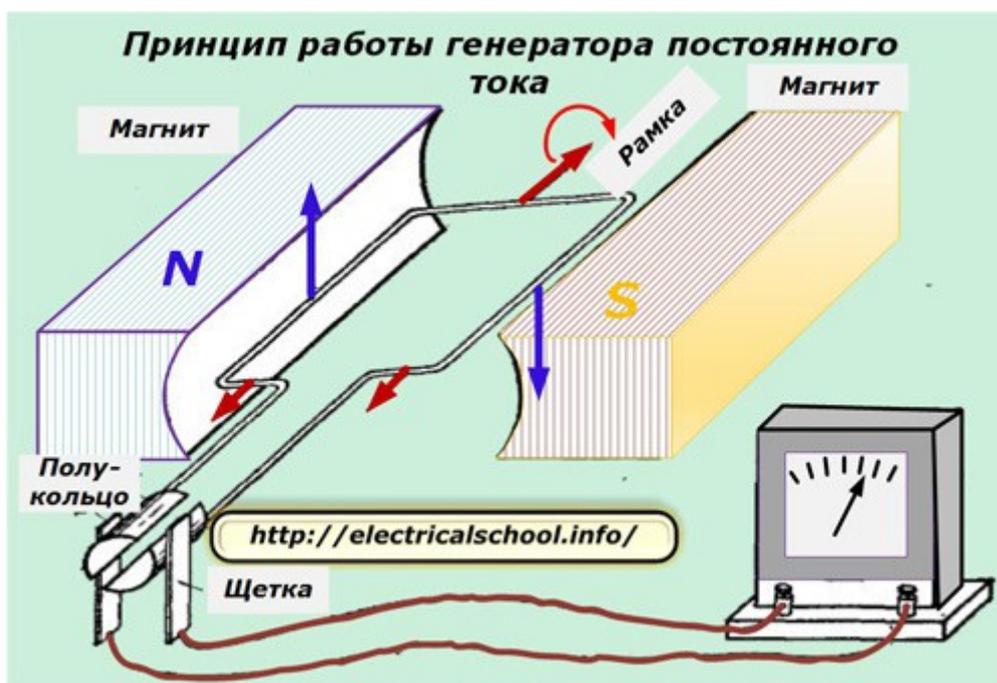
Для того чтобы создать замкнутый контур и отвести с него электрический ток, потребовалось создать коллектор и щеточный узел, обеспечивающий постоянный контакт между вращающейся рамкой и стационарно расположенной частью схемы.

За счет конструкции подпружиненных щеток, прижимающихся к коллекторным пластинам, происходит передача электрического тока на выходные клеммы, а с них дальше он поступает в сеть потребителя.

## Принцип работы простейшего генератора постоянного тока

При вращении рамки вокруг оси ее левая и правая половинки циклически проходят около южного или северного полюса магнитов. В них каждый раз происходит смена направлений токов на противоположное так, что у каждого полюса они протекают в одну сторону.

Для того чтобы в выходной цепи создавался постоянный ток, на коллекторном узле создано полукольцо для каждой половинки обмотки. Прилегающие к кольцу щетки снимают потенциал только своего знака: положительный или отрицательный.



Поскольку полукольцо вращающейся рамки разомкнуто, то в нем создаются моменты, когда ток достигает максимального значения или отсутствует.

Чтобы поддерживать не только направление, но и постоянную величину вырабатываемого напряжения, рамку изготавливают по специально подготовленной технологии:

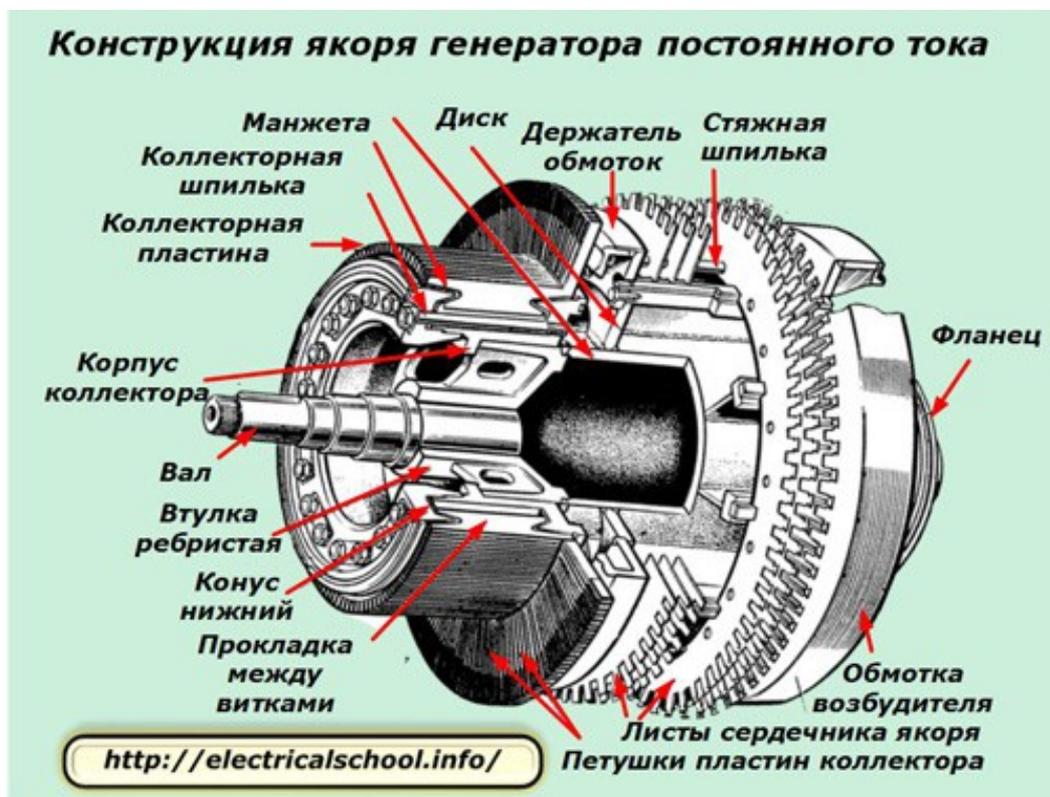
- у нее используют не один виток, а несколько — в зависимости от величины запланированного напряжения;
- число рамок не ограничивается одним экземпляром: их стараются сделать достаточным количеством для оптимального поддержания перепадов напряжения на одном уровне.

У генератора постоянного тока обмотки ротора располагают в пазах [магнитопровода](#). Это позволяет сокращать потери наводимого электромагнитного поля.

## Конструктивные особенности генераторов постоянного тока

Основными элементами устройства являются:

- внешняя силовая рама;
- магнитные полюса;
- статор;
- вращающийся ротор;
- коммутационный узел со щётками.



Корпус изготавливают из стальных сплавов или чугуна для придания механической прочности общей конструкции. Дополнительной задачей корпуса является передача магнитного потока между полюсами.

Полюса магнитов крепят к корпусу шпильками или болтами. На них монтируют обмотку.

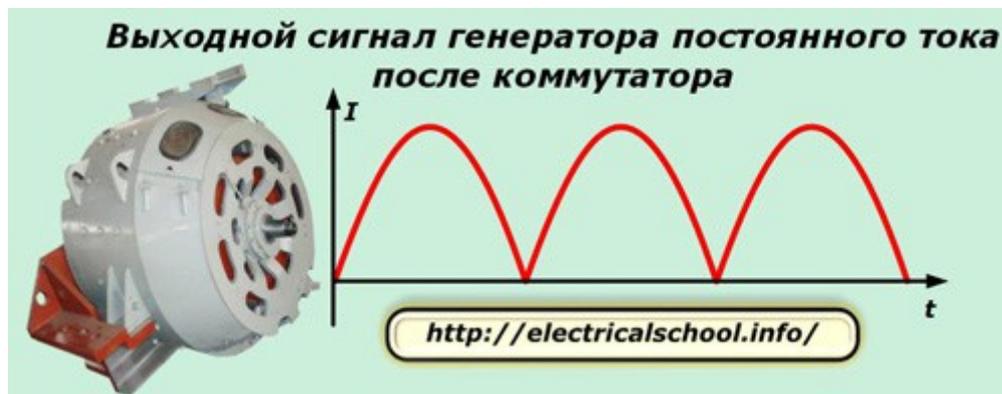
Статор, называемый еще ярмом или остовом, изготавливают из ферромагнитных материалов. На нем размещают обмотку катушки возбуждения. Сердечник статора оснащен магнитными полюсами, образующими его магнитное силовое поле.

Ротор имеет синоним: якорь. Его магнитопровод состоит из шихтованных пластин, снижающих образование вихревых токов и повышающих КПД. В пазы сердечника заложены обмотки ротора и/или самовозбуждения.

Коммутационный узел со щетками может иметь разное количество полюсов, но оно всегда кратно двум. Материалом щеток обычно используют графит.

Коллекторные пластины изготавливают из меди, как наиболее оптимального металла, подходящего по электрическим свойствам проводимости тока.

Благодаря использованию коммутатора на выходных клеммах генератора постоянного тока образуется сигнал пульсирующего вида.



### **Основные типы конструкций генераторов постоянного тока**

По типу питания обмотки возбуждения различают устройства:

1. с самовозбуждением;
2. работающие на основе независимого включения.

Первые изделия могут:

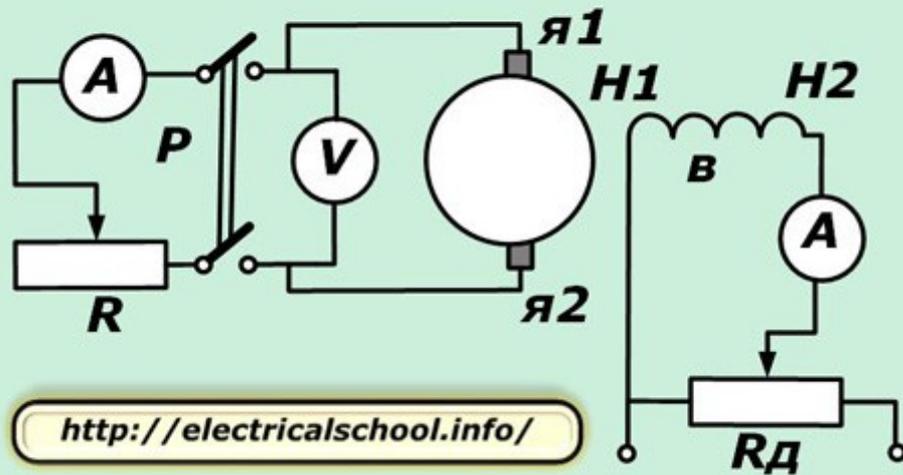
- использовать постоянные магниты;
- или работать от внешних источников, например, аккумуляторных батарей, ветряной установки...

Генераторы с независимым включением работают от собственной обмотки, которая может быть подключена:

- последовательно;
- шунтами или параллельным возбуждением.

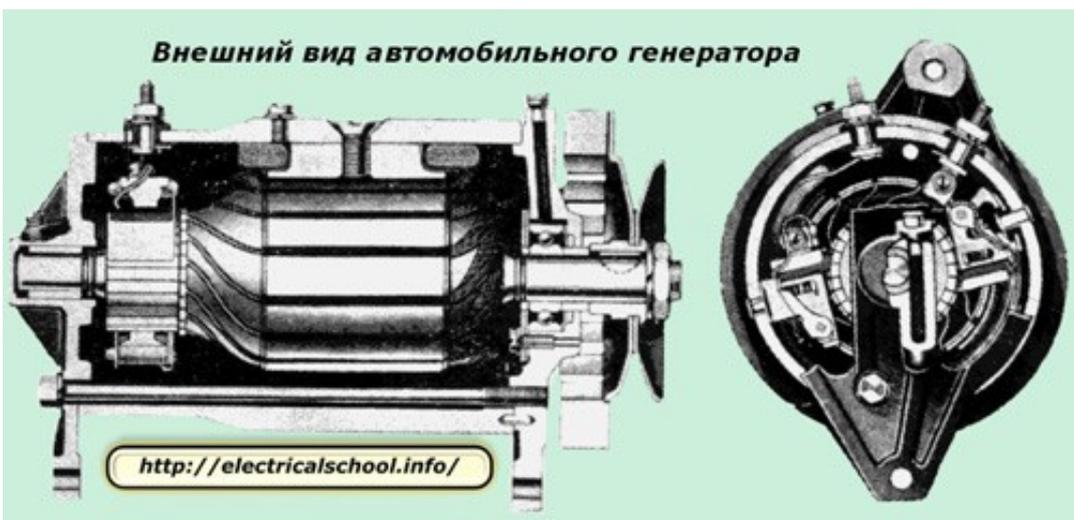
Один из вариантов подобного подключения показан на схеме.

### Схема генератора постоянного тока с независимым включением



Примером генератора постоянного тока может служить конструкция, которая раньше часто применялась на автомобильной технике. Ее устройство такое же, как у асинхронного двигателя.

### Внешний вид автомобильного генератора



Подобные коллекторные конструкции способны работать в режиме двигателя или генератора одновременно. За счет этого они получили распространение в существующих гибридных автомобилях.

### Процесс образования якорной реакции

Она возникает в режиме холостого хода при неправильной настройке усилия прижатия щеток, создающее неоптимальный режим их трения. Это может привести к снижению магнитных полей или возникновению пожара из-за повышенного образования искр.

Способами ее снижения являются:

- компенсации магнитных полей за счет подключения дополнительных полюсов;

- настройка сдвига положения коллекторных щеток.

### **Преимущества генераторов постоянного тока**

К ним относят:

- отсутствие потерь на гистерезис и образование вихревых токов;
- работа в экстремальных условиях;
- пониженный вес и маленькие габариты.

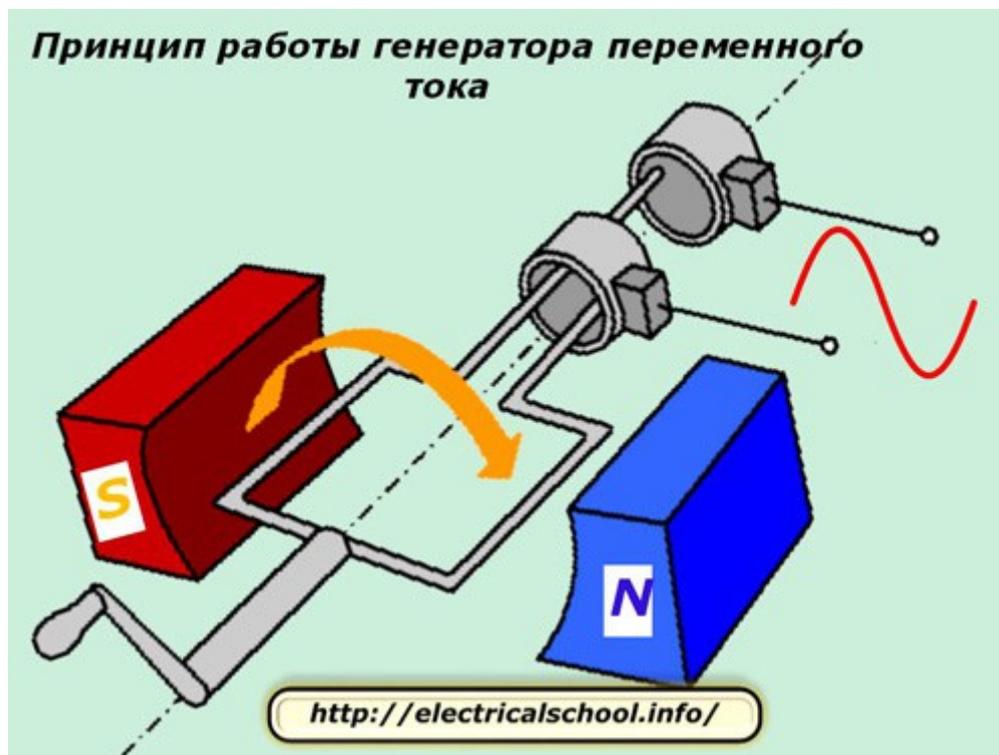
### **Принцип работы простейшего генератора переменного тока**

Внутри этой конструкции используются все те же детали, что и у предыдущего аналога:

- магнитное поле;
- вращающаяся рамка;
- коллекторный узел со щетками для отвода тока.

Основное отличие заключается в устройстве коллекторного узла, который создан так, что при вращении рамки через щетки постоянно создается контакт со своей половинкой рамки без циклической смены их положения.

За счет этого ток, сменяющийся по законам гармоники в каждой половинке, полностью без изменений передается на щетки и далее через них в схему потребителя.



Естественно, что рамка создана намоткой не из одного витка, а рассчитанного их количества для достижения оптимального напряжения.

Таким образом, принцип работы генераторов постоянного и переменного тока общий, а отличия конструкции заключаются в изготовлении:

- коллекторного узла вращающегося ротора;
- конфигурации обмоток на роторе.

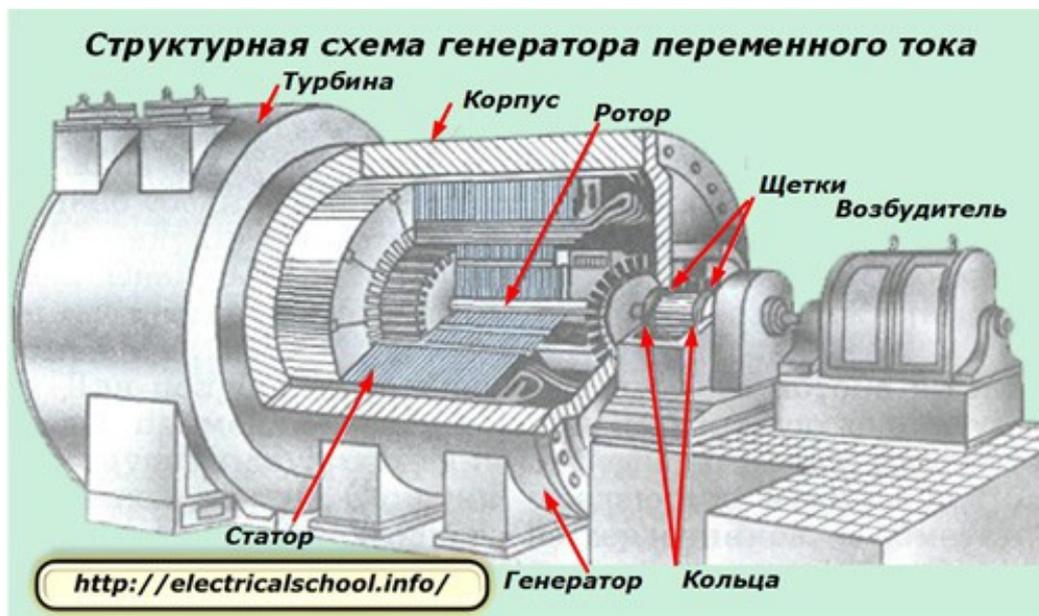
### **Конструктивные особенности промышленных генераторов переменного тока**

Рассмотрим основные части промышленного индукционного генератора, у которого ротор получает вращательное движение от рядом расположенной турбины.

В конструкцию статора включен электромагнит (хотя магнитное поле может создаваться набором постоянных магнитов) и обмотка ротора с определённым числом витков.

Внутри каждого витка индуцируется электродвижущая сила, которая последовательно складывается в каждом из них и образует на выходных зажимах суммарное значение напряжения, выдаваемого на схему питания подключенных потребителей.

Чтобы повысить на выходе генератора амплитуду ЭДС используют специальную конструкцию магнитной системы, выполненную из двух магнитопроводов за счет применения специальных сортов электротехнической стали в виде шихтованных пластин с пазами. Внутри их смонтированы обмотки.



В корпусе генератора расположен сердечник статора с пазами для размещения обмотки, создающей магнитное поле.

Вращающийся на подшипниках ротор тоже имеет магнитопровод с пазами, внутри которых смонтирована обмотка, получающая индуцируемую ЭДС.

Обычно для размещения оси вращения выбирается горизонтальное направление, хотя, встречаются конструкции генераторов с вертикальным расположением и соответствующей конструкцией подшипников.

Между статором и ротором всегда создается зазор, необходимый для обеспечения вращения и исключения заклинивания. Но, в то же время в нем происходит потеря энергии магнитной индукции. Поэтому его стараются делать минимально возможным, оптимально учитывая оба этих требования.

Расположенный на одном валу с ротором возбудитель является электрогенератором постоянного тока, обладающим относительно небольшой мощностью. Его назначение: питать электроэнергией обмотки силового генератора в состоянии независимого возбуждения.

Подобные возбудители применяют чаще всего с конструкциями турбинных или гидравлических электрогенераторов при создании основного либо резервного способа возбуждения.

На картинке промышленного генератора показано расположение коллекторных колец и щеток для съема токов с конструкции вращающегося ротора.

Этот узел при работе испытывает постоянные механические и электрические нагрузки. Для их преодоления создается сложная конструкция, которая при эксплуатации требует периодических осмотров и выполнения профилактических мероприятий.

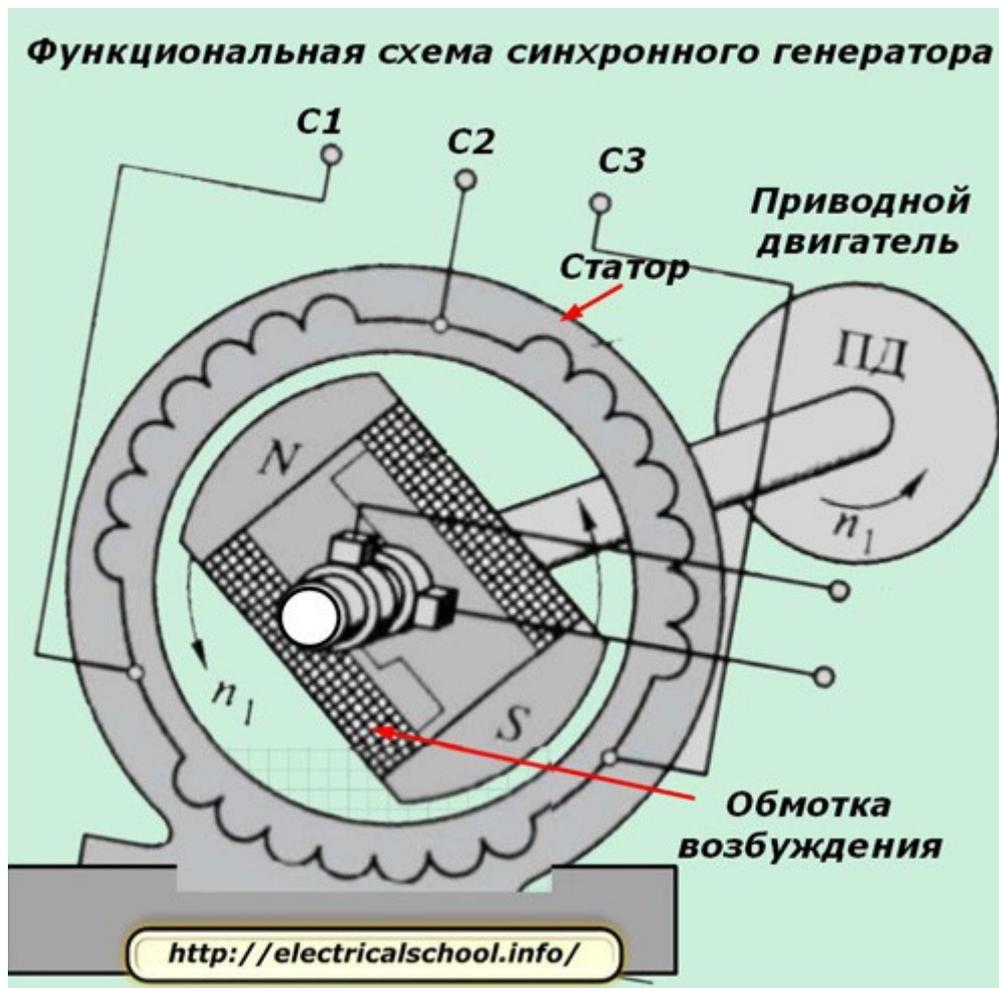
Чтобы снизить создаваемые эксплуатационные затраты применяется другая, альтернативная технология, при которой тоже используется взаимодействие между вращающимися электромагнитными полями. Только на роторе располагают постоянные или электрические магниты, а напряжение снимают со стационарно расположенной обмотки.

При создании подобной схемы такую конструкцию могут называть термином «альтернатор». Она применяется в синхронных генераторах: высокочастотных, автомобильных, на тепловозах и судах, установках электрических станций энергетики для производства электроэнергии.

## Особенности синхронных генераторов

### Принцип действия

Название и отличительный признак действия заключен в создании жесткой связи между частотой переменной электродвижущей силы, наводимой в статорной обмотке «f» и вращением ротора.



В статоре вмонтирована трехфазная обмотка, а на роторе — электромагнит с сердечником и обмоткой возбуждения, запитанной от цепей постоянного тока через щеточный коллекторный узел.

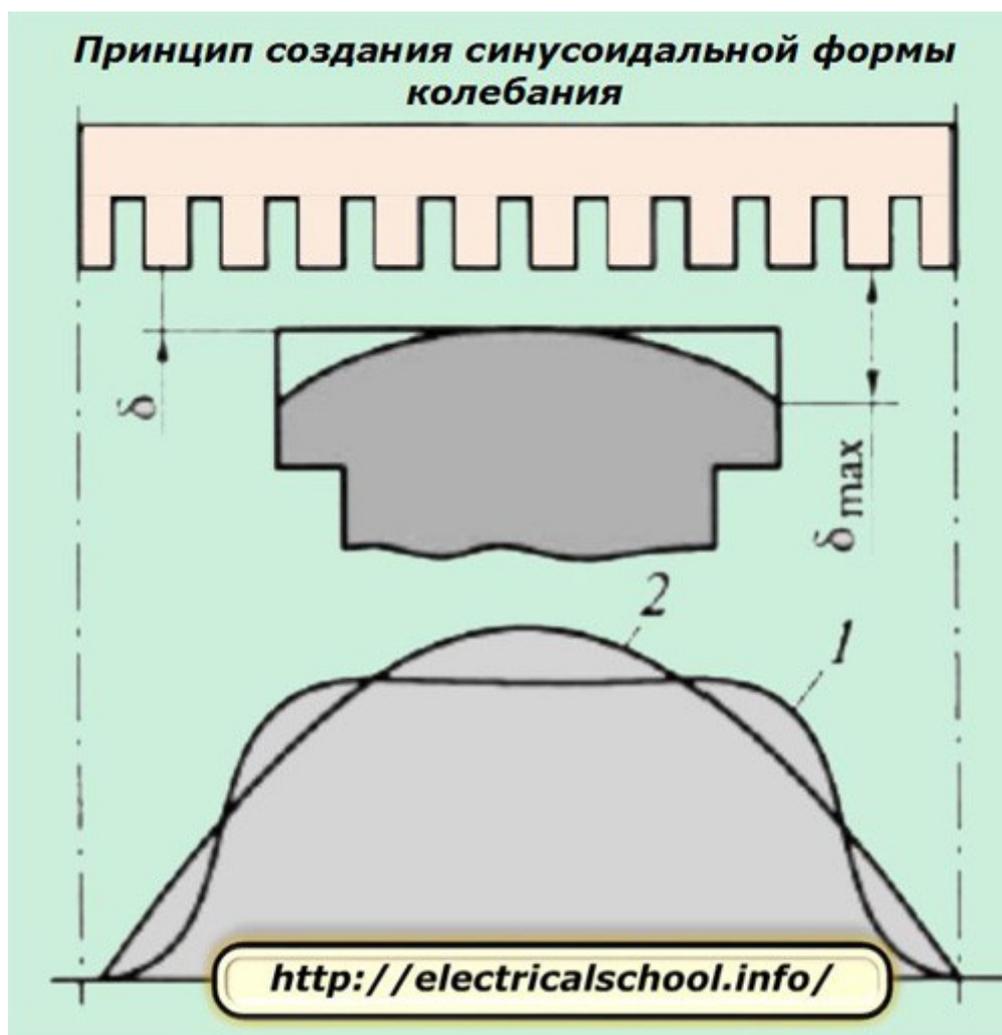
Ротор приводится во вращение от источника механической энергии — приводного двигателя с одинаковой скоростью. Его магнитное поле совершает такое же движение.

В обмотках статора наводятся одинаковые по величине, но сдвинутые на 120 градусов по направлению электродвижущие силы, создающие трехфазную симметричную систему.

При подключении на концы обмоток цепей потребителей в схеме начинают действовать токи фаз, которые образуют магнитное поле, вращающееся точно так же: синхронно.

Форма выходного сигнала наводимой ЭДС зависит только от закона распределения вектора магнитной индукции внутри зазора между полюсами ротора и пластинами статора. Поэтому добиваются создания такой конструкции, когда величина индукции меняется по синусоидальному закону.

Когда зазор имеет постоянную характеристику, то вектор магнитной индукции внутри зазора создается по форме трапеции, как показано на графике линий 1.



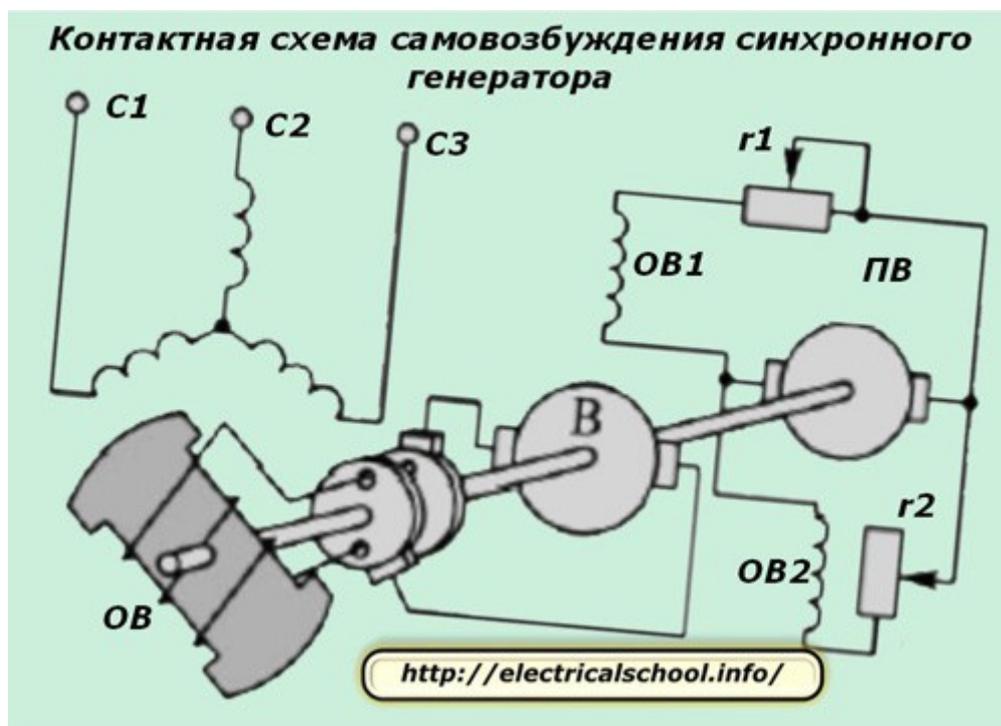
Если же форму краев на полюсах исправить на косоугольную с изменением зазора до максимального значения, то можно добиться синусоидальной формы распределения, как показано линией 2. Этим приемом и пользуются на практике,

### **Схемы возбуждения синхронных генераторов**

Магнитодвижущая сила, возникающая на обмотке возбуждения «ОВ» ротора, создает его магнитное поле. Для этого существуют разные конструкции возбудителей постоянного тока, основанные на:

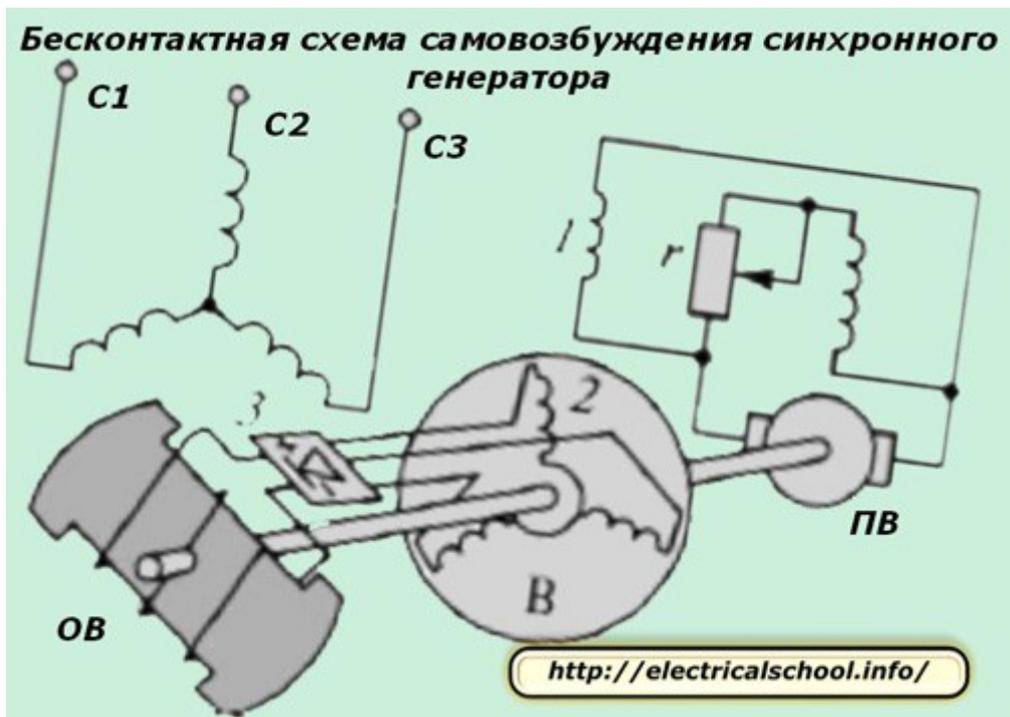
1. контактном методе;
2. бесконтактном способе.

В первом случае используется отдельный генератор, называемый возбудителем «В». Его обмотка возбуждения питается от дополнительного генератора по принципу параллельного возбуждения, именуемого подвозбудителем «ПВ».



Все роторы размещаются на общем валу. За счет этого они вращаются совершенно одинаково. Реостаты  $r1$  и  $r2$  служат для регулирования токов в схемах возбудителя и подвозбудителя.

При бесконтактном способе отсутствуют контактные кольца ротора. Прямо на нем монтируют трехфазную обмотку возбудителя. Она синхронно вращается с ротором и передает через совместно вращающийся выпрямитель электрический постоянный ток непосредственно на обмотку возбудителя «В».

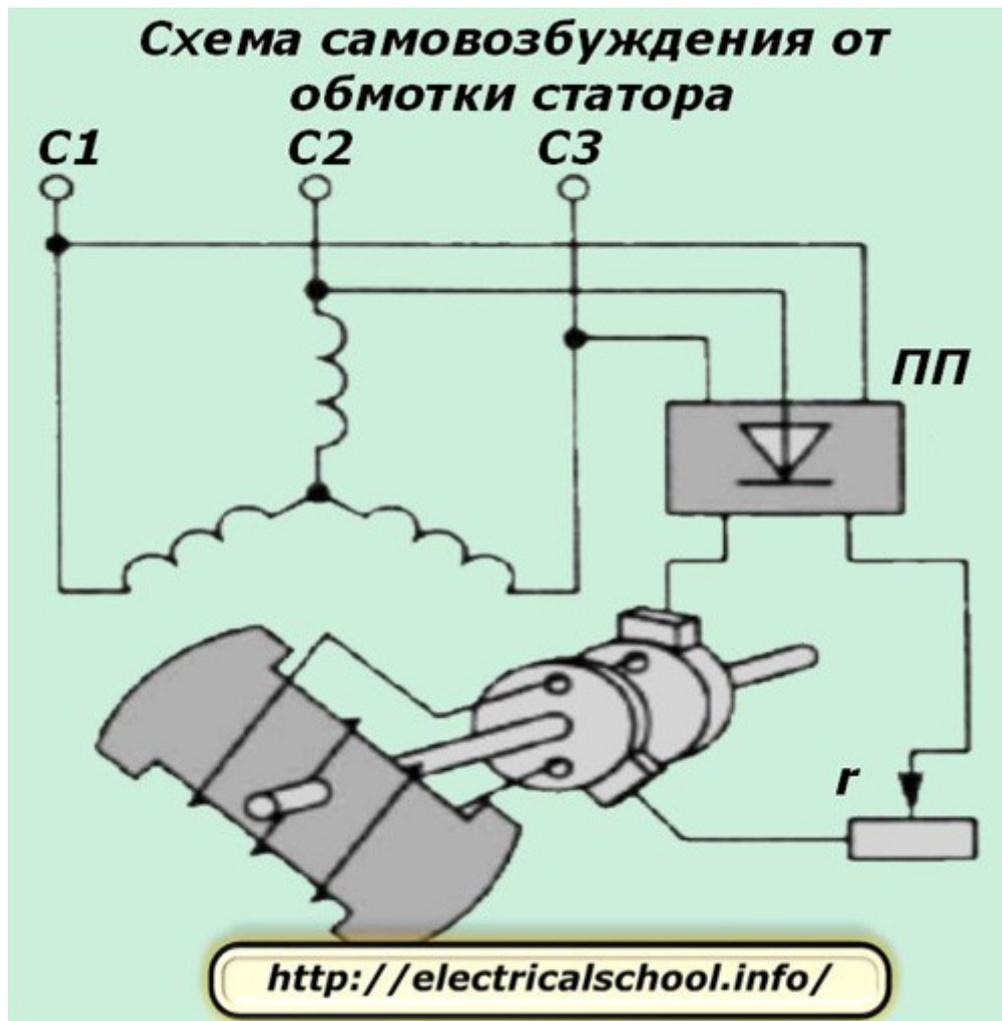


Разновидностями бесконтактной схемы являются:

1. система самовозбуждения от собственной обмотки статора;
2. автоматизированная схема.

При первом методе напряжение от обмоток статора поступает на понижающий трансформатор, а затем — полупроводниковый выпрямитель «ПП», вырабатывающий постоянный ток.

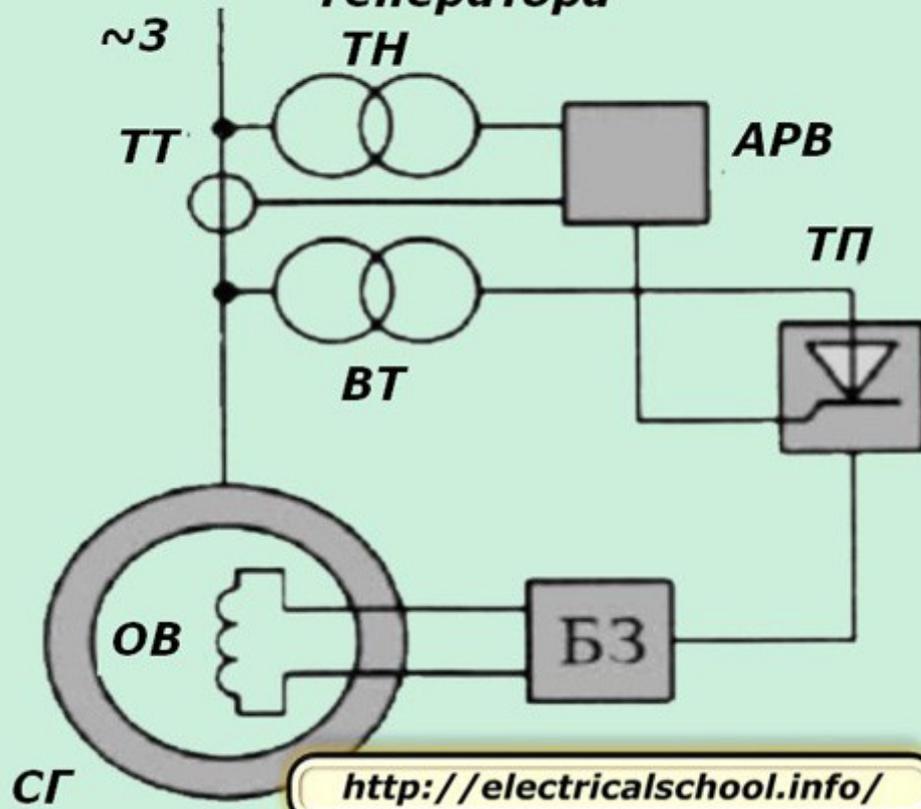
У этого способа первоначальное возбуждение создается за счет явления остаточного магнетизма.



Автоматическая схема создания самовозбуждения включает использование:

- трансформатора напряжения ТН;
- автоматизированного регулятора возбуждения АВР;
- трансформатора тока ТТ;
- выпрямительного трансформатора ВТ;
- тиристорного преобразователя ТП;
- блока защиты БЗ.

## Схема автоматического самовозбуждения синхронного генератора



### Особенности асинхронных генераторов

Принципиальное отличие этих конструкций состоит в отсутствие жесткой связи между частотами вращения ротора ( $n_r$ ) и индуцируемой в обмотке ЭДС ( $n$ ). Между ними всегда существует разница, которую называют «скольжением». Ее обозначают латинской буквой «S» и выражают формулой.

$$S = \frac{n - n_r}{n}$$

При подключении нагрузки на генератор создается тормозной момент для вращения ротора. Он влияет на частоту вырабатываемой ЭДС, создает отрицательное скольжение.

Конструкцию ротора у асинхронных генераторов изготавливают:

- короткозамкнутой;
- фазной;
- полый.

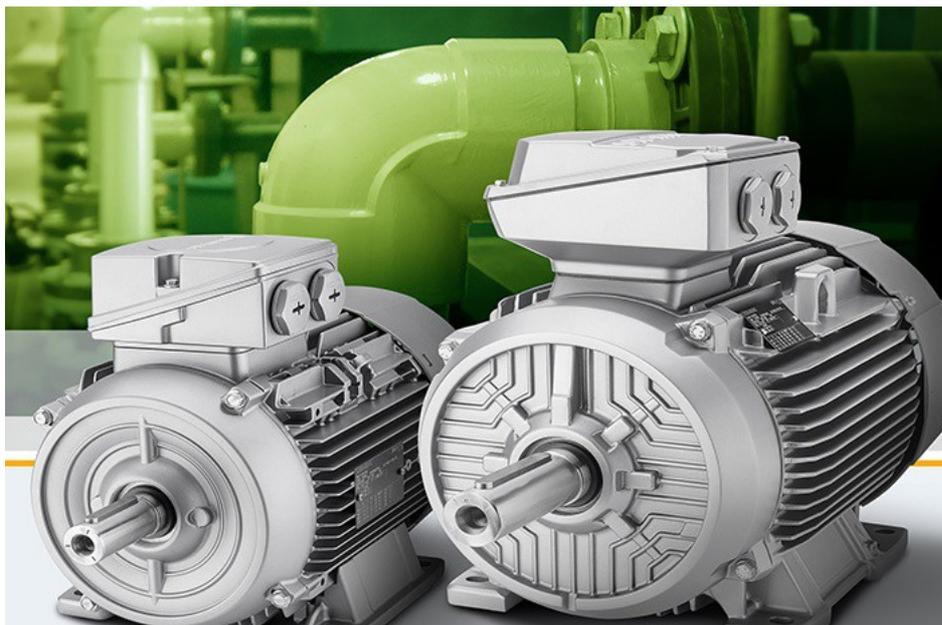
Асинхронные генераторы могут иметь:

1. независимое возбуждение;

## 2. самовозбуждение.

В первом случае используется внешний источник переменного напряжения, а во втором — полупроводниковые преобразователи или конденсаторы в первичной, вторичной или обоих видах схем.

Таким образом, генераторы переменного и постоянного тока имеют много общих черт в принципах построения, но отличаются конструктивным исполнением определённых элементов.



### **Как устроены и работают электродвигатели**

Любой электрический двигатель предназначен для совершения механической работы за счет расхода приложенной к нему электроэнергии, которая преобразуется, как правило, во вращательное движение.

Хотя в технике встречаются модели, которые сразу создают поступательное движение рабочего органа. Их называют линейными двигателями.

В промышленных установках электромоторы приводят в действие различные станки и механические устройства, участвующие в технологическом производственном процессе.

Внутри бытовых приборов электродвигатели работают в стиральных машинах, пылесосах, компьютерах, фенах, детских игрушках, часах и многих других устройствах.

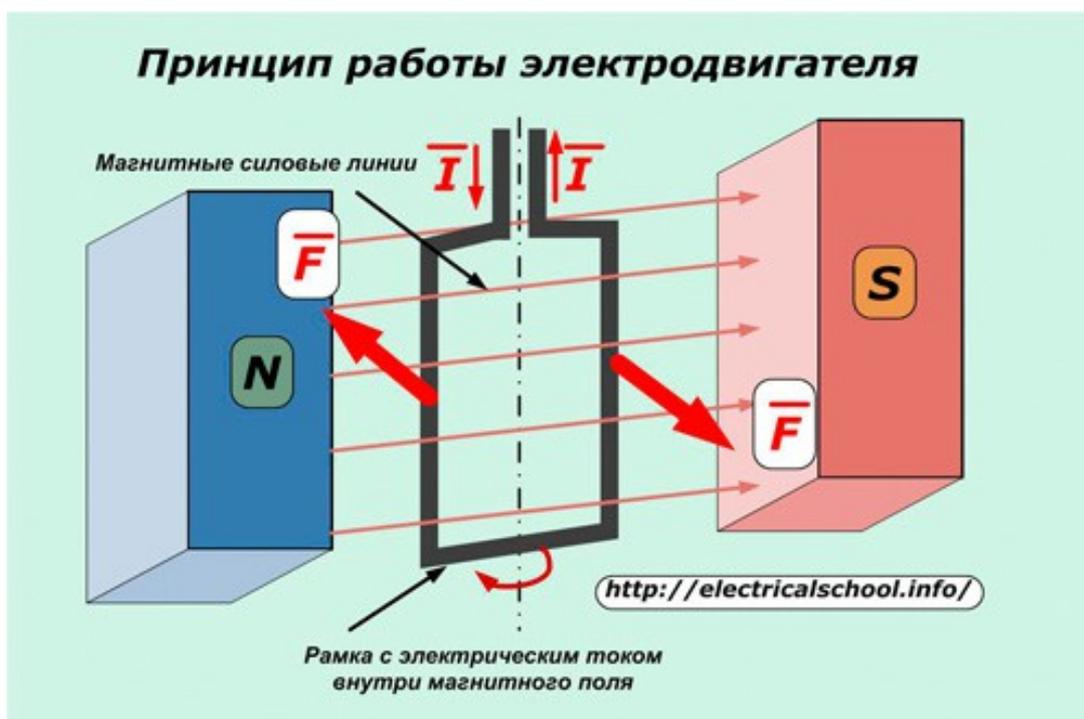
### **Основные физические процессы и принцип действия**

На движущиеся внутри магнитного поля электрические заряды, которые называют электрическим током, всегда действует

механическая сила, стремящаяся отклонить их направление в плоскости, расположенной перпендикулярно ориентации магнитных силовых линий.

Когда электрический ток проходит по металлическому проводнику или выполненной из него катушке, то эта сила стремится подвинуть/повернуть каждый проводник с током и всю обмотку в целом.

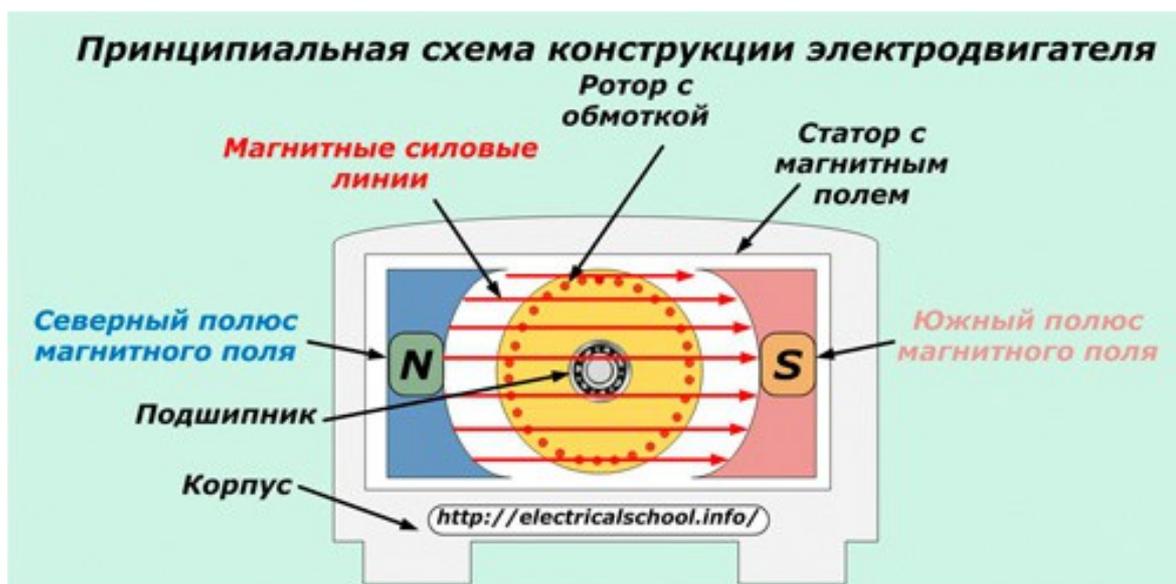
На картинке ниже показана металлическая рамка, по которой течет ток. Приложенное к ней магнитное поле создает для каждой ветви рамки силу  $F$ , создающую вращательное движение.



Это свойство взаимодействия электрической и магнитной энергии на основе создания электродвижущей силы в замкнутом токопроводящем контуре положено в работу любого электродвигателя. В его конструкцию входят:

- обмотка, по которой протекает электрический ток. Ее располагают на специальном сердечнике-якоре и закрепляют в подшипниках вращения для уменьшения противодействия сил трения. Эту конструкцию называют ротором;
- статор, создающий магнитное поле, которое своими силовыми линиями пронизывает проходящие по виткам обмотки ротора электрические заряды;
- корпус для размещения статора. Внутри корпуса сделаны специальные посадочные гнезда, внутри которых вмонтированы внешние обоймы подшипников ротора.

Упрощенно конструкцию наиболее простого электродвигателя можно представить картинкой следующего вида.



При вращении ротора создается крутящий момент, мощность которого зависит от общей конструкции устройства, величины приложенной электрической энергии, ее потерь при преобразованиях.

Величина максимально возможной мощности крутящего момента двигателя всегда меньше приложенной к нему электрической энергии. Она характеризуется величиной коэффициента полезного действия.

### **Виды электродвигателей**

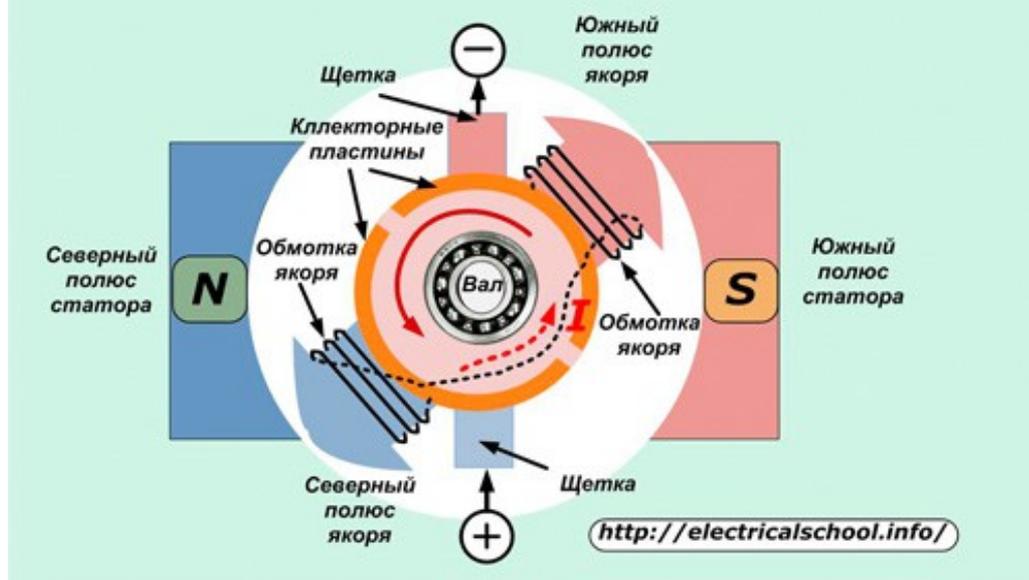
По виду протекающего по обмоткам тока их подразделяют на двигатели постоянного или переменного тока. Каждая из этих двух групп имеет большое количество модификаций, использующих различные технологические процессы.

### **Электродвигатели постоянного тока**

У них магнитное поле статора создается стационарно закрепленными постоянными магнитами либо специальными электромагнитами с обмотками возбуждения. Обмотка якоря жестко вмонтирована в вал, который закреплен в подшипниках и может свободно вращаться вокруг собственной оси.

Принципиальное устройство такого двигателя показано на рисунке.

## Принцип устройства электродвигателя постоянного тока



На сердечнике якоря из ферромагнитных материалов расположена обмотка, состоящая из двух последовательно соединенных частей, которые одним концом подключены к токопроводящим коллекторным пластинам, а другим скоммутированы между собой.

Две щетки из графита расположены на диаметрально противоположных концах якоря и прижимаются к контактным площадкам коллекторных пластин.

На нижнюю щетку рисунка подводится положительный потенциал постоянного источника тока, а на верхнюю — отрицательный. Направление протекающего по обмотке тока показано пунктирной красной стрелкой.

Ток вызывает в нижней левой части якоря магнитное поле северного полюса, а в правой верхней — южного (правило буравчика).

Это приводит к отталкиванию полюсов ротора от одноименных стационарных и притяжению к разноименным полюсам на статоре. В результате приложенной силы возникает вращательное движение, направление которого указывает коричневая стрелка.

При дальнейшем вращении якоря по инерции полюса переходят на другие коллекторные пластины. Направление тока в них изменяется на противоположное. Ротор продолжает дальнейшее вращение.

Простая конструкция подобного коллекторного устройства приводит к большим потерям электрической энергии. Подобные двигатели работают в приборах простой конструкции или игрушках для детей.

Электродвигатели постоянного тока, участвующие в производственном процессе, имеют более сложную конструкцию:

- обмотка секционирована не на две, а на большее количество частей;
- каждая секция обмотки смонтирована на своем полюсе;
- коллекторное устройство выполнено определенным количеством контактных площадок по числу секций обмоток.

В результате этого создается плавное подключение каждого полюса через свои контактные пластины к щеткам и источнику тока, снижаются потери электроэнергии.

Устройство подобного якоря показано на картинке.



У электрических двигателей постоянного тока можно реверсировать направление вращения ротора. Для этого достаточно изменить движение тока в обмотке на противоположное сменой полярности на источнике.

### **Электродвигатели переменного тока**

Они отличаются от предыдущих конструкций тем, что электрический ток, протекающий в их обмотке, описывается по синусоидальному гармоническому закону, периодически изменяющему свое направление (знак). Для их питания напряжение подается от генераторов со знакопеременной величиной.

Статор таких двигателей выполняется магнитопроводом. Его делают из ферромагнитных пластин с пазами, в которые помещают витки обмотки с конфигурацией рамки (катушки).



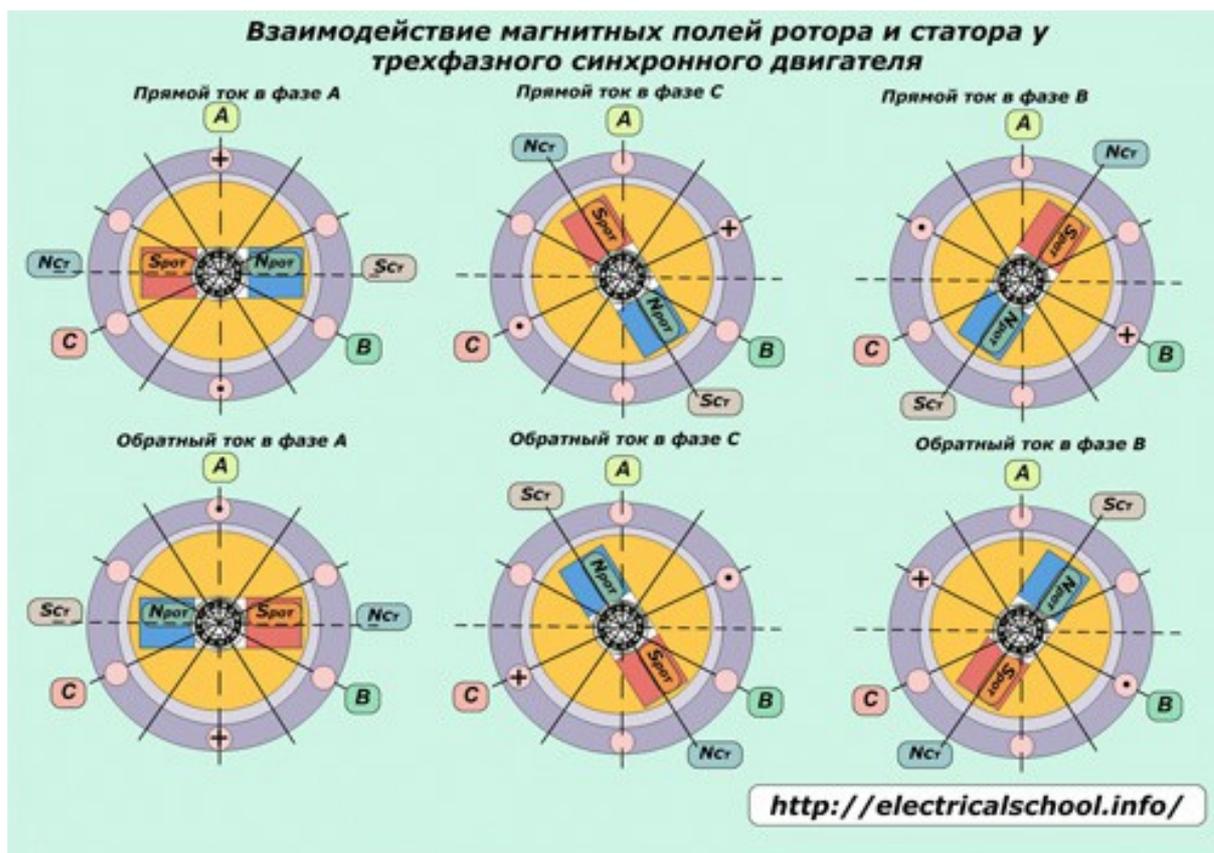
тока по обмотке статора в ней создается магнитное поле с полюсами «S ст» и «N ст».

Между магнитными полями ротора и статора возникают силы взаимодействия (одноименные полюса отталкиваются, а разноименные — притягиваются), которые стремятся повернуть якорь электродвигателя из произвольного положения в окончательное, когда осуществляется максимально близкое расположение противоположных полюсов относительно друг друга.

Если рассматривать этот же случай, но для момента времени, когда по рамочному проводнику протекает обратная — отрицательная полуволна тока, то вращение якоря будет происходить в противоположную сторону.

Для придания непрерывного движения ротору в статоре делают не одну обмотку-рамку, а определенное их количество с таким учетом, чтобы каждая из них питалась от отдельного источника тока.

Принцип работы трехфазного двигателя переменного тока с синхронным вращением электромагнитных полей ротора и статора показан на следующей картинке.



В этой конструкции внутри магнитопровода статора смонтированы три обмотки А, В и С, смещенные на углы 120 градусов между собой. Обмотка А выделена желтым цветом, В — зеленым, а С — красным.

Каждая обмотка выполнена такими же рамками, как и в предыдущем случае.

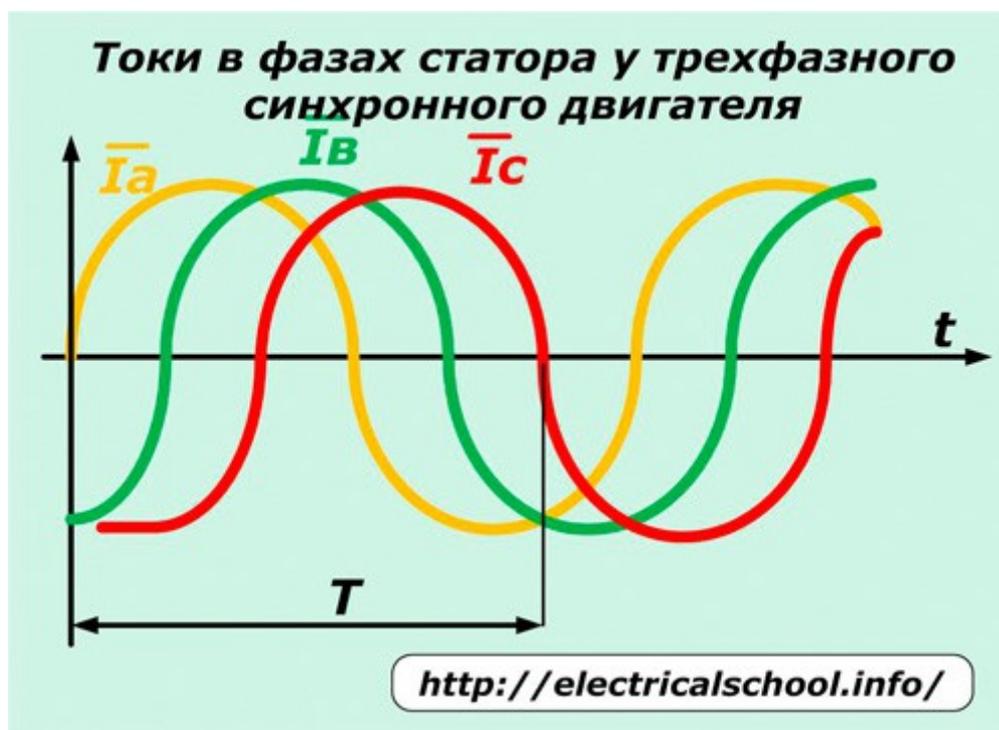
На картинке для каждого случая ток проходит только по одной обмотке в прямом или обратном направлении, которое показано значками «+» и «-».

При прохождении положительной полуволны по фазе А в прямом направлении ось поля ротора занимает горизонтальное положение потому, что магнитные полюса статора формируются в этой плоскости и притягивают подвижный якорь.

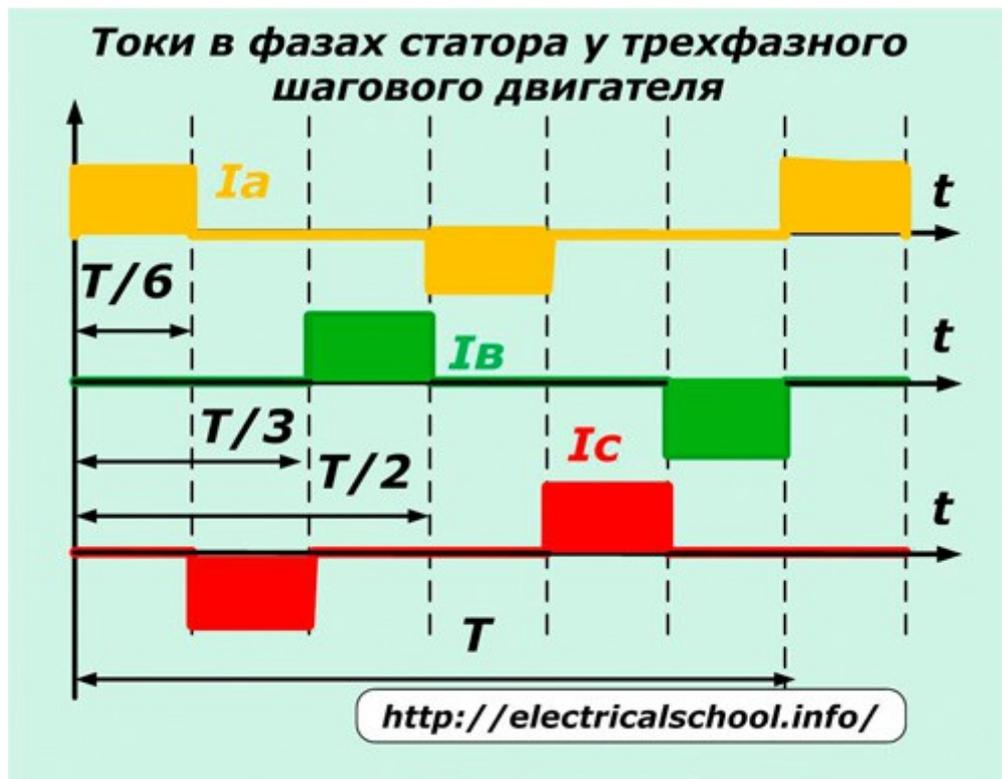
Разноименные полюса ротора стремятся приблизиться к полюсам статора.

Когда положительная полуволна пойдет по фазе С, то якорь повернется на  $60^\circ$  по ходу часовой стрелки. После подачи тока в фазу В произойдет аналогичный поворот якоря. Каждое очередное протекание тока в очередной фазе следующей обмотки будет вращать ротор.

Если к каждой обмотке подвести сдвинутое по углу  $120$  градусов напряжение трехфазной сети, то в них будут циркулировать переменные токи, которые раскрутят якорь и создадут его синхронное вращение с подведенным электромагнитным полем.



Эта же механическая конструкция успешно применяется в трехфазном шаговом двигателе. Только в каждую обмотку с помощью управления специальным контроллером подаются и снимаются импульсы постоянного тока по описанному выше алгоритму.



Их запуск начинает вращательное движение, а прекращение в определенный момент времени обеспечивает дозированный поворот вала и остановку на запрограммированный угол для выполнения определенных технологических операций.

В обеих описанных трехфазных системах возможно изменение направления вращения якоря. Для этого надо просто поменять чередование фаз «А»-«В»-«С» на другое, например, «А»-«С»-«В».

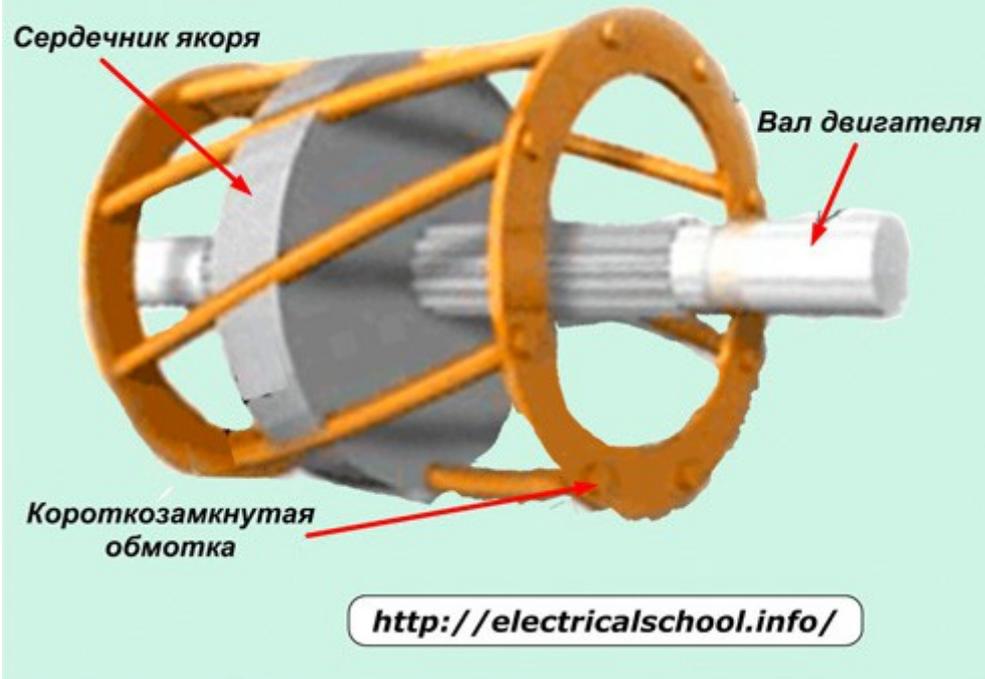
Скорость вращения ротора регулируется продолжительностью периода  $T$ . Его сокращение приводит к ускорению вращения.

Величина амплитуды тока в фазе зависит от внутреннего сопротивления обмотки и значения приложенного к ней напряжения. Она определяет величину крутящего момента и мощности электрического двигателя.

### **Асинхронные электродвигатели**

Эти конструкции двигателей имеют такой же статорный магнитопровод с обмотками, как и в ранее рассмотренных однофазных и трехфазных моделях. Они получили свое название из-за несинхронного вращения электромагнитных полей якоря и статора. Сделано это за счет усовершенствования конфигурации ротора.

## Принцип конструктивного исполнения ротора асинхронного двигателя



Его сердечник набран из пластин электротехнических марок стали с пазами. В них вмонтированы алюминиевые либо медные тоководы, которые по концам якоря замкнуты токопроводящими кольцами.

Когда к обмоткам статора подводится напряжение, то в обмотке ротора электродвижущей силой наводится электрический ток и создается магнитное поле якоря. При взаимодействии этих электромагнитных полей начинается вращение вала двигателя.

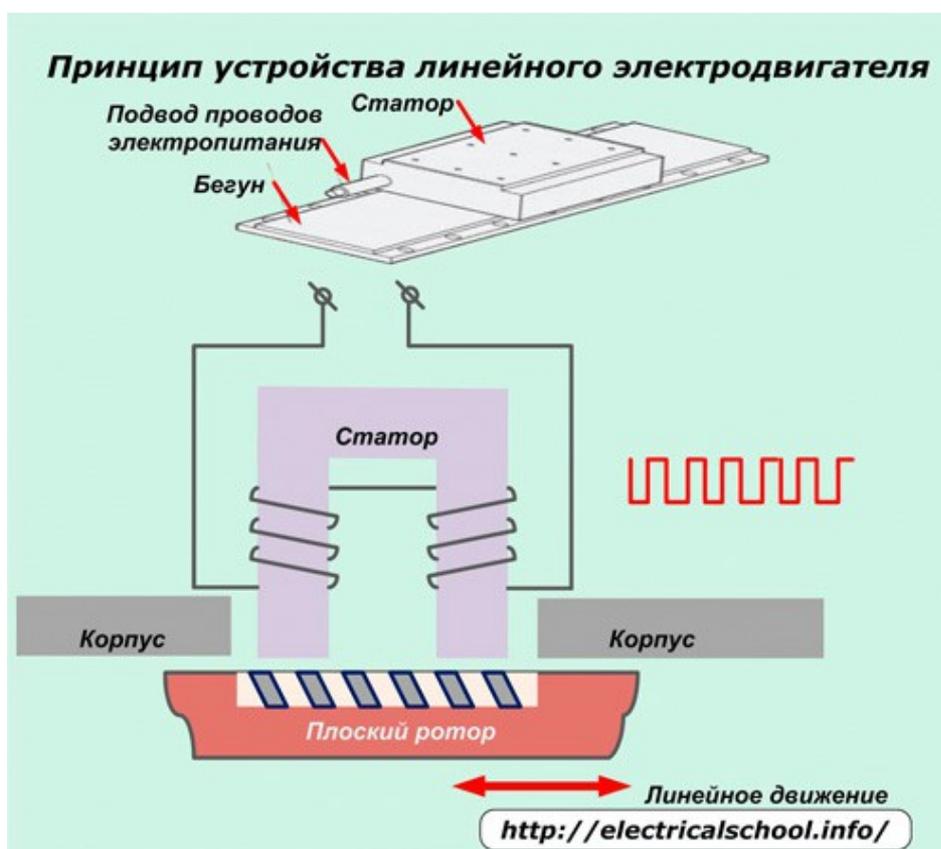
У этой конструкции движение ротора возможно только после того, как возникло вращающееся электромагнитное поле в статоре и оно продолжается в несинхронном режиме работы с ним.

Асинхронные двигатели проще в конструктивном исполнении. Поэтому они дешевле и массово применяются в промышленных установках и бытовой домашней технике.

### Линейные электродвигатели

Многие рабочие органы промышленных механизмов выполняют возвратно-поступательное или поступательное движение в одной плоскости, необходимое для работы металлообрабатывающих станков, транспортных средств, ударов молота при забивании свай...

Перемещение такого рабочего органа с помощью редукторов, шариковинтовых, ременных передач и подобных механических устройств от вращательного электродвигателя усложняет конструкцию. Современное техническое решение этой проблемы — работа линейного электрического двигателя.



У него статор и ротор вытянуты в виде полос, а не свернуты кольцами, как у вращательных электродвигателей.

Принцип работы заключается в придании возвратно-поступательного линейного перемещения бегуну-ротору за счет передачи электромагнитной энергии от неподвижного статора с незамкнутым магнитопроводом определенной длины. Внутри него поочередным включением тока создается бегущее магнитное поле.

Оно воздействует на обмотку якоря с коллектором. Возникающие в таком двигателе силы перемещают ротор только в линейном направлении по направляющим элементам.

Линейные двигатели конструируются для работы на постоянном или переменном токе, могут работать в синхронном либо асинхронном режиме.

#### **Линки:**

«Школа для электрика» -

<http://electricalschool.info/>

«Школа для электрика» на Facebook –

<https://www.facebook.com/electricalschool/>

Архив рассылки –

<http://subscribe.ru/catalog/tech.electrotech>