

# Двигатели переменного тока



Назначение, принцип действия,  
устройство




## Широкое применение генераторов переменного тока

Ни для кого не станет удивительным тот факт, что в наши дни популярность, востребованность и спрос таких устройств, как **электростанции и генераторы переменного тока**, достаточно высоки. Это объясняется, прежде всего, тем, что современное генераторное оборудование имеет для нашего населения огромное значение. Помимо этого необходимо добавить и то, что генераторы переменного тока нашли свое широкое применение в самых различных сферах и областях, о чем хотелось бы рассказать более подробно.

Обратите свое внимание на то, что изначально генераторы имели довольно узкую область применения. Однако с течением времени разработчики, техники и специалисты смогли усовершенствовать данные устройства, в результате чего их сферы и области применения стали более широкими. Первоначально нашему вниманию были представлены промышленные генераторы переменного тока, которые и по сей день являются одними из незаменимых для нашей страны и ее населения устройств.

---





**Промышленные генераторы** могут быть установлены в таких местах, как поликлиники и детские сады, больницы и заведения общественного питания, морозильные склады и многие другие места, требующие непрерывной подачи электрического тока.

Обратите свое внимание на то, что отсутствие электричества в больнице может привести непосредственно к гибели человека. Именно поэтому в подобных местах генераторы должны быть установлены обязательно.

Также довольно распространенным является явление использования генераторов переменного тока и электростанций в местах проведения строительных работ. Это позволяет строителям использовать необходимое им оборудование даже на тех участках, где полностью отсутствует электрификация.

Однако и этим дело не ограничилось. Электростанции и генераторные установки были усовершенствованы и дальше. В результате этого нам были предложены бытовые генераторы переменного тока, которые вполне удачно можно было устанавливать для электрификации коттеджей и загородных домов.

---

По принципу работы эти двигатели разделяются на **синхронные** и **асинхронные двигатели**. Принципиальное различие состоит в том, что в синхронных машинах первая гармоника магнитодвижущей силы статора движется со скоростью вращения ротора (благодаря чему сам ротор вращается со скоростью вращения магнитного поля в статоре), а у асинхронных — всегда есть разница между скоростью вращения ротора и скоростью вращения магнитного поля в статоре (поле вращается быстрее ротора).

Синхронный электродвигатель — электродвигатель переменного тока, ротор которого вращается синхронно с магнитным полем питающего напряжения. Данные двигатели обычно используются при больших мощностях (от сотен киловатт и выше).

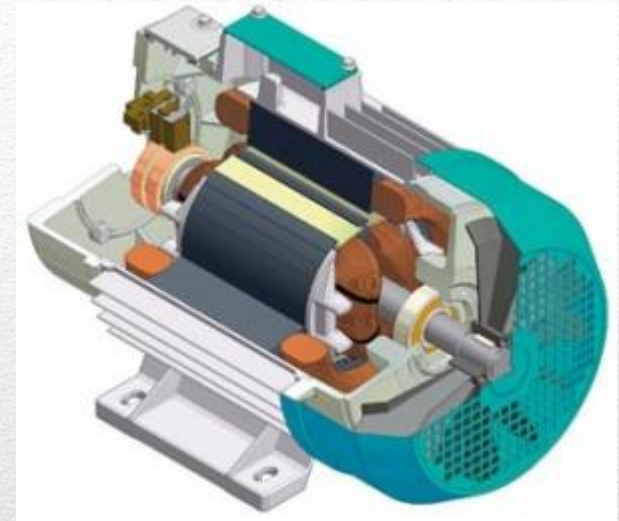
Существуют синхронные двигатели с дискретным угловым перемещением ротора — шаговые двигатели. У них заданное положение ротора фиксируется подачей питания на соответствующие обмотки. Переход в другое положение осуществляется путём снятия напряжения питания с одних обмоток и передачи его на другие. Ещё один вид синхронных двигателей — вентильный реактивный электродвигатель, питание обмоток которого формируется при помощи полупроводниковых элементов.

Асинхронный электродвигатель — электродвигатель переменного тока, в котором частота вращения ротора отличается от частоты вращающего магнитного поля, создаваемого питающим напряжением. Эти двигатели наиболее распространены в настоящее время.

Синхронные машины по большей части применяются в качестве электродвигателей и генераторов переменного тока. Преобразователи частоты из них, как правило, не делают. Основным достоинством синхронной электрической машины является то, что в ней легко регулировать скорость вращения вала. Поэтому их часто применяют в системах автоматики.

Асинхронная машина это машина, в которой основное магнитное поле статора создаётся переменным электрическим током. А скорость вращения вала не связана жёсткой зависимостью с частотой питающего тока. Асинхронные машины делятся на коллекторные и без коллекторные. Коллекторные машины применяются крайне редко так как они более дороги в производстве, а надёжность их ниже. Асинхронные электрические машины чаще всего используются в качестве электродвигателей.

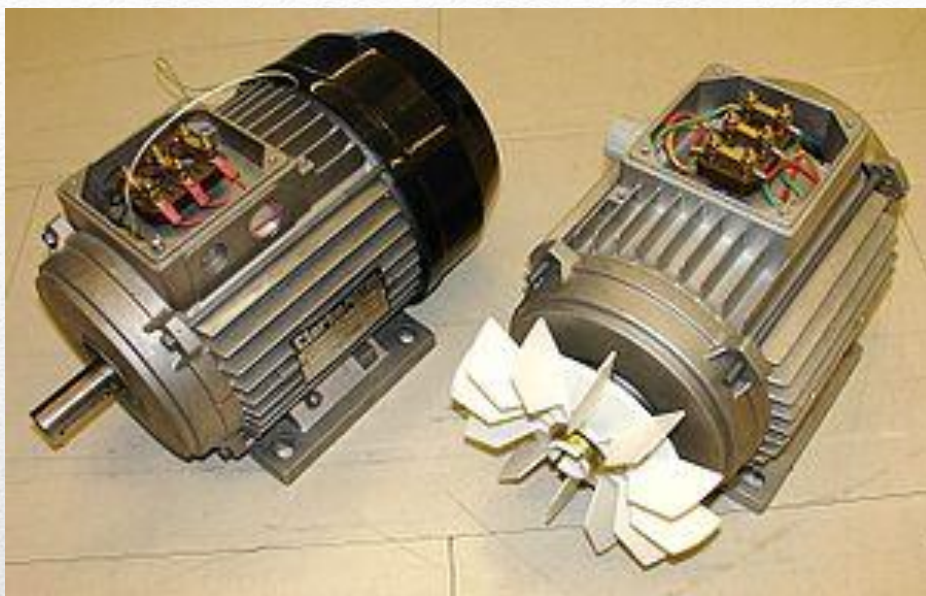
---



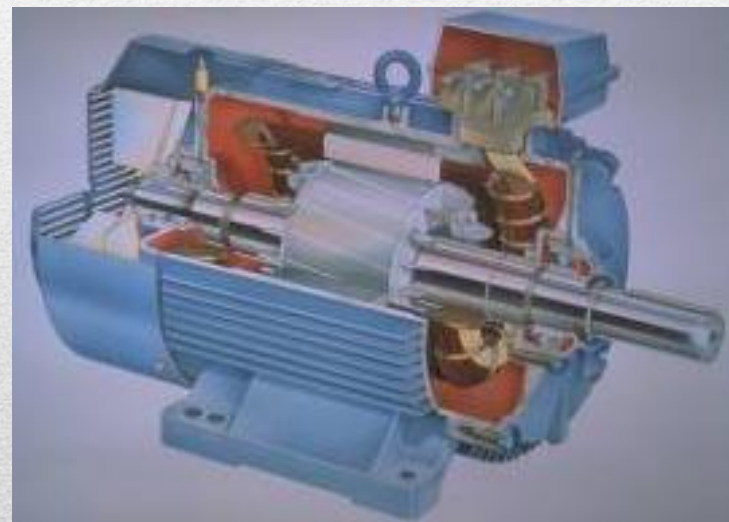
**Синхронная машина в разрезе**

Типичная синхронная машина —  
трёхфазный электродвигатель

---



Трехфазные асинхронные двигатели



**Пример асинхронной электрической машины**



В основу работы любой электрической машины положен принцип [электромагнитной индукции](#). Электрическая машина состоит из неподвижной части — статора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или индуктора (для машин постоянного тока) и подвижной части — ротора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или якоря (для машин постоянного тока). В роли индуктора на маломощных двигателях постоянного тока очень часто используются постоянные магниты



Ротор может быть:

- короткозамкнутым;
- фазным (с обмоткой) — используются там, где необходимо уменьшить пусковой ток и регулировать частоту вращения асинхронного электродвигателя. Сейчас эти двигатели редкость, так как на рынке появились преобразователи частоты, ранее же они очень часто использовались в крановых установках.

Якорь — это подвижная часть машин постоянного тока (двигателя или генератора) или же работающего по этому же принципу так называемого универсального двигателя (который используется в электроинструменте). По сути универсальный двигатель — это тот же двигатель постоянного тока (ДПТ) с последовательным возбуждением (обмотки якоря и индуктора включены последовательно). Отличие только в расчётах обмоток. На постоянном токе отсутствует реактивное (индуктивное или ёмкостное) сопротивление. Поэтому любая болгарка, если выкинуть электронный блок, будет вполне работоспособна и на постоянном токе, но при меньшем напряжении сети.

---

Ротор это та часть двигателя, которая вращается внутри статора. С конструктивной точки зрения ротор – тело вращения, что означает симметрию относительно оси вращения. Ротор, в принципе, очень прост и вполне надежен. Выглядит он как обычная цилиндрическая болванка с торчащими концами вала, но это только кажется, что ротор прост. Изготавливается он из разных материалов и с довольно точными размерами. В роторе имеется обмотка, но увидеть её не представляется возможным так, как обмотка эта выполняется довольно необычным образом. Обмотку заливают в пазы ротора расплавленным алюминием. Иногда её выполняют из медных стержней, которые забивают в пазы и приваривают по обоим концам к медным кольцам. В результате, получается, что обмотка в роторе короткозамкнутая и выглядит она как «беличья клетка». Такие обмотки довольно массивные и поэтому механически прочные. Если эл. двигатель будет работать в штатном режиме или при кратковременных перегрузках, то такая обмотка практически вечная. Отсюда и высокая надёжность всего асинхронного эл. двигателя с к.з. ротором.

---

Теперь посмотрим на сердечник ротора. Он изготавливается не из однородного куска металла, а набирается из отдельных пластин из специальной электротехнической стали. Толщина каждого листа может быть от 0,25 до 0,5 мм. Каждая пластина в сердечнике ротора изготавливается штамповкой. Пластины имеют форму круга. По внешнему радиусу вырубается пазы определённой формы. Сердечник ротора получается не однородным. Но зачем такая сложность в изготовлении? Понятное дело, шихтовать сердечник из отдельных пластин приходится не для забавы.

---

Дело в том, что при переменном токе магнитный поток, который проходит по сердечнику тоже переменный. При этом в каждой пластине наводятся вихревые токи, которые выделяются в виде тепла. Вихревые токи паразитные так, как нагрев сердечника, собственно, нам не нужен. Задача любого эл. двигателя - преобразовывать электрическую энергию в механическую. Нагрев - это потери эл. энергии и снижение КПД машины. Как показывает практика, чем толще пластины, тем выше потери. Причём, толщина пропорциональна квадрату потерь. Если выполнить сердечник из цельного металла, то двигатель превратится в печку. С другой стороны, уменьшать толщину отдельных пластин тоже нельзя до бесконечности так, как требуется механическая прочность. При вращении 3000 об/мин возникает достаточно высокая нагрузка, и сердечник может, просто, разорвать центробежной силой

---

Принцип преобразования электрической энергии в механическую энергию электромагнитным полем был продемонстрирован британским учёным Майклом [Фарадеем](#) в 1821 и состоял из свободно висящего провода, окунающегося в ртуть. Постоянный магнит был установлен в середине пула ртути. Когда через провод пропусклся ток, провод вращался вокруг магнита, показывая, что ток вызывал циклическое магнитное поле вокруг провода. Этот двигатель часто демонстрируется в школьных классах физики, вместо токсичной ртути используют рассол. Это — самый простой вид из класса электрических двигателей. Последующим усовершенствованием является [Колесо Барлоу](#). Оно было демонстрационным устройством, непригодным в практических применениях из-за ограниченной мощности. Изобретатели стремились создать электродвигатель для производственных нужд. Они пытались заставить железный сердечник двигаться в поле электромагнита возвратно-поступательно, то есть так, как движется поршень в цилиндре паровой машины. Русский ученый Б. С. Якоби пошел иным путем. В 1834 г. он создал первый в мире практически пригодный электродвигатель с вращающимся якорем и опубликовал теоретическую работу «О применении электромагнетизма для приведения в движение машины». [Б. С. Якоби](#) писал, что его двигатель несложен и «дает непосредственно круговое движение, которого гораздо легче преобразовать в другие виды движения, чем возвратно-поступательное».

---

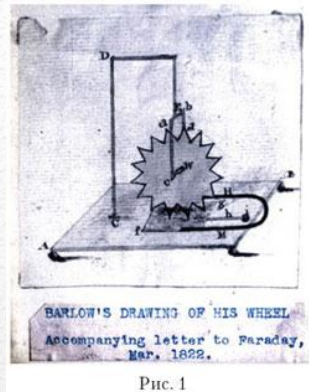


Рис. 1

Через год после создания в 1821 г. первого униполярного двигателя М.Фарадей получил письмо от П.Барлоу (1776–1862), в котором был описан новый электродвигатель (рис. 1), названный впоследствии *колесом Барлоу*.

На штативе закреплена металлическая вилка-держатель, в котором на оси вращается металлический диск. Нижний край диска находится между полюсами постоянного подковообразного магнита и погружён в небольшой металлический сосуд со ртутью. Все детали двигателя, кроме магнита, изготовлены из неферромагнитных металлов. Питание на двигатель подводится к оси диска и к металлическому сосуду с ртутью. Электрический ток, проходя по направлению радиуса диска вниз, оказывается в магнитном поле. При этом на ток действует сила Ампера, направление которой определяется правилом левой руки.

Физической причиной силы Ампера является сила Лоренца, действующая со стороны магнитного поля на отрицательно заряженные электроны, которые движутся в направлении, противоположном направлению тока.

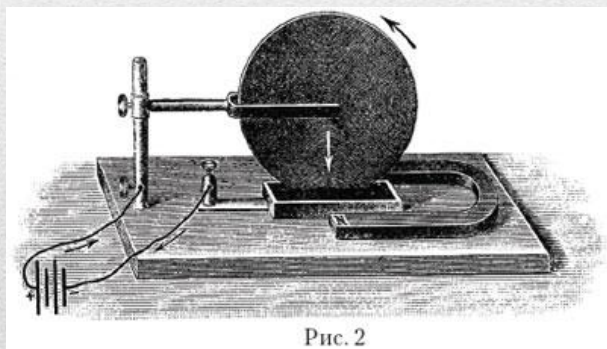
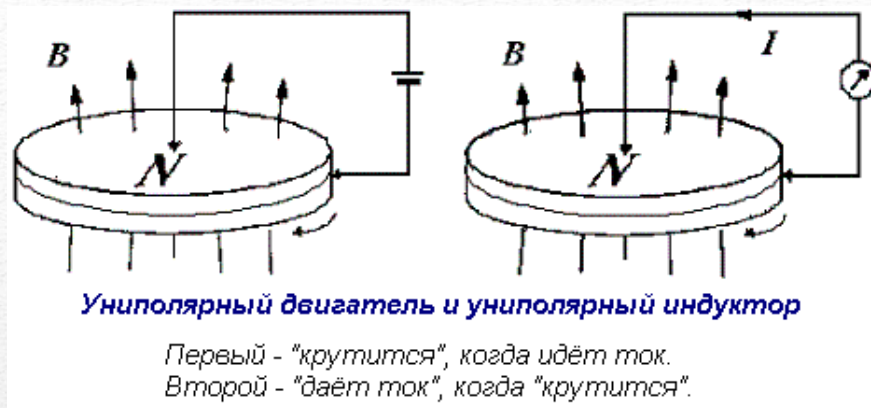


Рис. 2



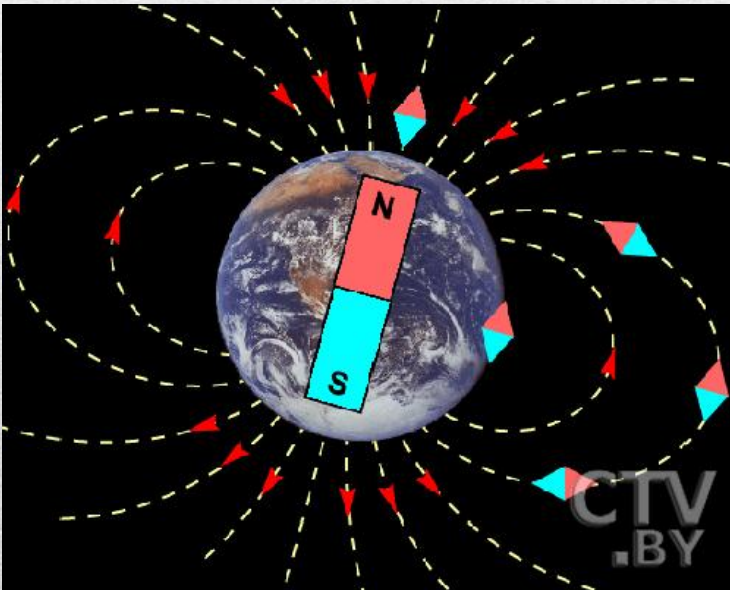
Если вращать магнит вокруг своей оси, то на свободные заряды, движущиеся вместе с ним, будет действовать сила Лоренца, возникнет разделение зарядов, а значит, разность потенциалов между осью магнита и его ободом, т. е. ЭДС индукции. Явление униполярной индукции было открыто Майклом Фарадеем в 1831 году. Такая система будет теперь называться не униполярным двигателем, а униполярным индуктором (генератором, динамо) Фарадея (сам Фарадей ссылался на работы Араго, опубликованные в «Philosophical Transaction», 1825 г.). Если к оси и ободу вращающегося магнита присоединить скользящие контакты, соединённые проводником, то по цепи потечёт ток, который можно обнаружить с помощью гальванометра.

Важно отметить, что в данном случае возникновение ЭДС индукции не связано с изменением магнитного потока, а объясняется только силой Лоренца.

Магнит можно оставить неподвижным, а вращать проводящий диск. Возникнет разность потенциалов между центром диска и его краем. Если соединить эти точки проводником, то по нему потечёт ток.



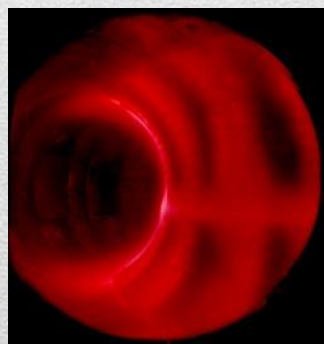
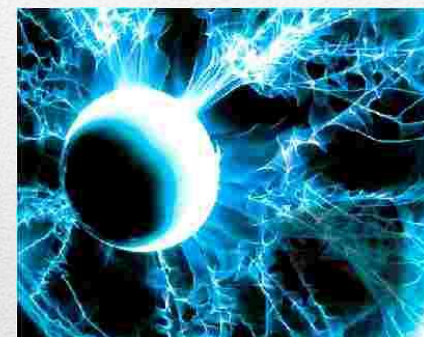
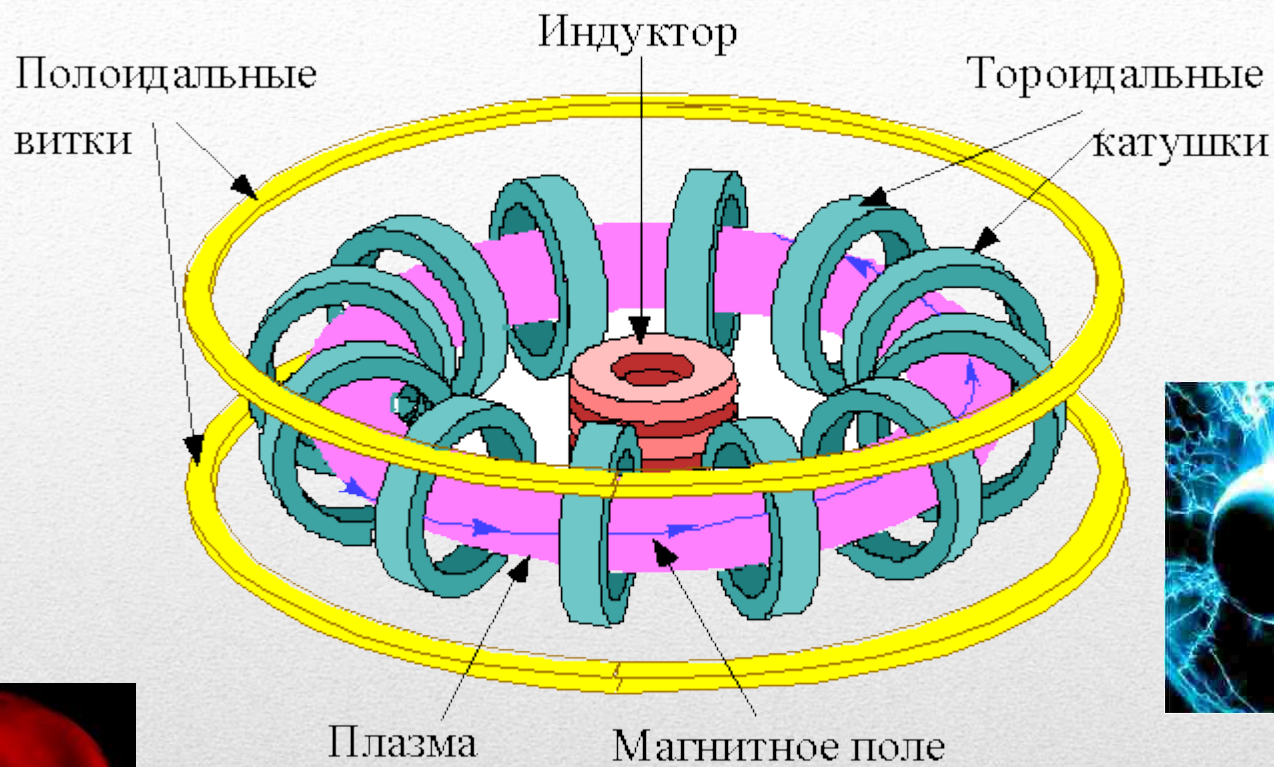
А теперь вспомним, что наша планета Земля является вращающимся магнитом, а значит, представляет собой *униполярный индуктор*. Свободные электрические заряды её проводящих сред (ионосферы, морей, недр) подвержены действию силы Лоренца. Возникает глобальное перераспределение зарядов, генерируется ЭДС униполярной индукции. Ясно, что это должно влиять на природные процессы на Земле: на климат, электрические явления в атмосфере. Но в настоящее время эти сложные взаимосвязи не являются хорошо изученными.



В промышленных униполярных генераторах используют не постоянные магниты, а тороидальные катушки возбуждения. В экспериментальных установках получают ток до миллионов ампер.

Особый класс униполярных генераторов составляют ударные униполярные генераторы, которые при торможении дают очень большие и короткие импульсы тока. Например, от такого генератора питается ТОКАМАК в Канберрском университете в Австралии. Такие мощные импульсы тока хороши для питания перспективных электромагнитных орудий сверхвысокой кинетической энергии. Эти разработки уже ведутся в оборонной промышленности.

---



Раскаленная плазма внутри Tokamak Fusion Test Reactor. Фото: Princeton Plasma Physics Laboratory



Внутренний вид японского стелларатора  
Large Helical Device. Фото: NIFS (Japan)

---

Стелларатор, разработанный под руководством Лео Спитцера (Leo Spitzer, 1887–1960) в Принстонском университете ([Princeton University](#)), конструктивно сложнее токамака. Он представляет собой перекрученный и деформированный в плане бублик. Не менее причудлива конфигурация насаженных на него магнитных катушек. За счет этой изощренности удастся отказаться от использования тока в плазме в качестве генерации удерживающего поля, формирующегося внутри камеры. Эту роль играет внешнее по отношению к камере реактора поле, создаваемое внешними магнитами сложной конфигурации.

За счет этого удастся существенно повысить стабильность плазмы, надежно препятствуя ее соприкосновению с холодными стенками камеры. Рекордное время поддержания и нагрева плазмы, превышающее 54 минуты, было зафиксировано на японском стеллараторе LHD.

---

**Токама́к** (тороидальная камера с магнитными катушками) — тороидальная установка для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания управляемого термоядерного синтеза. Плазма в токамаке удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать необходимую для термоядерных реакций температуру, а специально создаваемым комбинированным магнитным полем — тороидальным внешним и полоидальным полем тока, протекающего по плазменному шнуру. По сравнению с другими установками, использующими магнитное поле для удержания плазмы, использование электрического тока является главной особенностью токамака. Ток в плазме обеспечивает разогрев плазмы и удержание равновесия плазменного шнура в вакуумной камере. Этим токамак, в частности, отличается от стелларатора, являющегося одной из альтернативных схем удержания, в котором и тороидальное, и полоидальное поля создаются с помощью внешних магнитных катушек. Токамак-реактор на данный момент разрабатывается в рамках международного научного проекта

---

# История создания двигателя

Вращательное движение якоря в двигателе Якоби происходило вследствие попеременного притяжения и отталкивания электромагнитов. Неподвижная группа U-образных электромагнитов питалась током непосредственно от гальванической батареи, причем направление тока в этих электромагнитах оставалось неизменным. Подвижная группа электромагнитов была подключена к батарее через коммутатор, с помощью которого направление тока в каждом электромагните изменялось раз за один оборот диска. Полярность электромагнитов при этом соответственно изменялась, а каждый из подвижных электромагнитов попеременно притягивался и отталкивался соответствующим неподвижным электромагнитом: вал двигателя начинал вращаться. Мощность такого двигателя составляла всего 15 Вт. Впоследствии Якоби довел мощность электродвигателя до 550 Вт. Этот двигатель был установлен сначала на лодке, а позже на железнодорожной платформе.

В 1839 г. Якоби построил лодку с электромагнитным двигателем, который от 69 элементов Грове развивал 1 лошадиную силу и двигал лодку с 14 пассажирами по Неве против течения. Это было первое применение электромагнетизма к передвижению в больших размерах.

---



Борис Семёнович Якоби

Борис Семёнович Якоби — немецкий и русский физик, академик Императорской Санкт-Петербургской Академии Наук.

Родной старший брат выдающегося немецкого математика Карла Якоби.

Википедия

Родился: 21 сентября 1801 г., Потсдам

Умер: 10 марта 1874 г., Санкт-Петербург

Братья и сестры: Карл Густав Якоб Якоби

---



Русский физик и электротехник Борис Семенович (Мориц Герман) Якоби родился 9 (21) сентября 1801 г. в Потсдаме (Германия). Его отец был личным банкиром короля Фридриха Вильгельма, младший брат - Карл Густав Якоби (1804-1851) в дальнейшем стал выдающимся немецким математиком. (Он один из создателей теории эллиптических функций, ему принадлежат открытия в области теории чисел, линейной алгебры и многих других разделах математики).

Образование Б.С. Якоби получил в Гёттингенском университете, по желанию родителей получив специальность архитектора. В 1835 году он стал профессором гражданской архитектуры в Дерптском университете. Однако в Дерпте Б.С. Якоби пробыл недолго. У него кроме архитектуры была еще одна страсть - проводить опыты с электричеством. В мае 1834 года Якоби построил свою первую действующую модель электродвигателя, "магнитного аппарата", как называл он свой двигатель. В ноябре 1834 года он отправил в Парижскую Академию наук рукопись с описанием изобретенного им электродвигателя. 1 декабря о достижении Якоби было доложено на заседании Академии, а уже 3 декабря его записка была опубликована. Труды Б. Якоби в области "чистой и прикладной электрологии" нашли отклик в Петербурге в Академии наук, и в 1837 году он был командирован туда на "неопределённое время" для работы в комиссии по исследованию применений электромагнитов в движении машин. Приехав в Петербург, ученый остался в нем на всю жизнь.

---

**Наука выигрывает,  
когда ее крылья раскованы фантазией  
Майкл Фарадей**

**Спасибо за просмотр !**

**Вы отличный исследователь!  
Успехов в познании законов природы!**

---