



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ и ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Дисциплина «Введение в специальность»

Лекция Л-3

**Тема: Характеристика электроэнергетики и электротехники
как области науки и техники**

к.т.н., доцент Шайтор Николай Михайлович





Литература

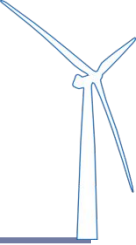
1. Демидова, Г.Л. Введение в специальность Электроэнергетика и электротехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Л. Демидова, Д.В. Лукичев.— Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2016. — 108 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91370>
2. Ю.И. Рясков, Н.М. Шайтор. Электрические машины: [Электронный ресурс] учеб-метод, пособие. - Севастополь: СевГУ, 2018. - 293 с.
URL:[https://lib.sevsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/8394/Ю.И.Рясков, Н.М. Шайтор. Электрические машины: \[Электронный ресурс\] учеб-метод, пособие. - Севастополь: СевГУ, 2018. - 293 с.
URL:https://lib.sevsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/8394/p_180037.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lib.sevsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/8394/Ю.И.Рясков,Н.М.Шайтор.Электрическиемашины:[Электронныйресурс]учеб-метод,пособие.-Севастополь:СевГУ,2018.-293с.URL:https://lib.sevsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/8394/p_180037.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



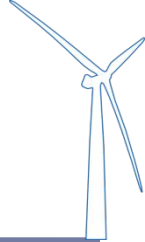
Вопросы лекции

- 1. Постоянный ток и электромагнетизм.**
- 2. Общие вопросы машин постоянного тока.**
- 3. Двигатели постоянного тока.**
- 4. Генераторы постоянного тока.**





1. Постоянный ток и электромагнетизм.



Электроэнергетика, её особенности

Электроэнергетика - это отрасль экономики РФ, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства (в т.ч. производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных и иных имущественных объектов, принадлежащих на праве собственности или на ином предусмотренном федеральными законами основании субъектам электроэнергетики или иным лицам.



Общая схема электроэнергетики





Электротехника

- **Электротехника** – наука о получении, передаче и применении электрической энергии в практических целях.



- **Электротехника** включает в себя три основных раздела: *Теоретические основы электротехники (ТОЭ), Электрические машины (ЭМ) и Электронику.*
- Электротехника - область науки и техники, использующая электрические и магнитные явления для осуществления процессов преобразования энергии и превращения вещества, а так же для передачи сигналов и информации.

Закон Ома(для участка цепи)

Сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

$$I=U:R$$

I- сила тока, (А)

U- напряжение, (В)

R- электрическое
сопротивление, (Ом)

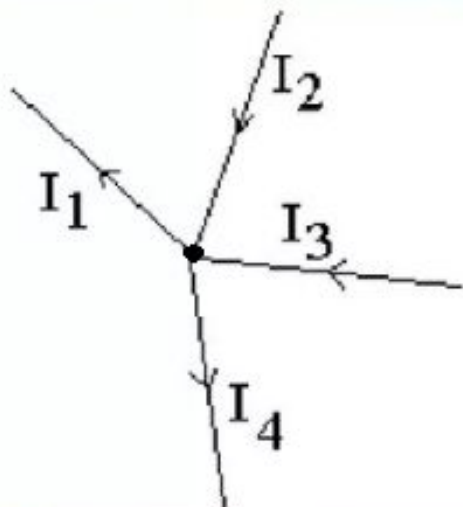


ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА:

Количество теплоты, выделяемое в проводнике с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения по нему тока:

$$Q = I^2 R t$$

Первый закон Кирхгофа



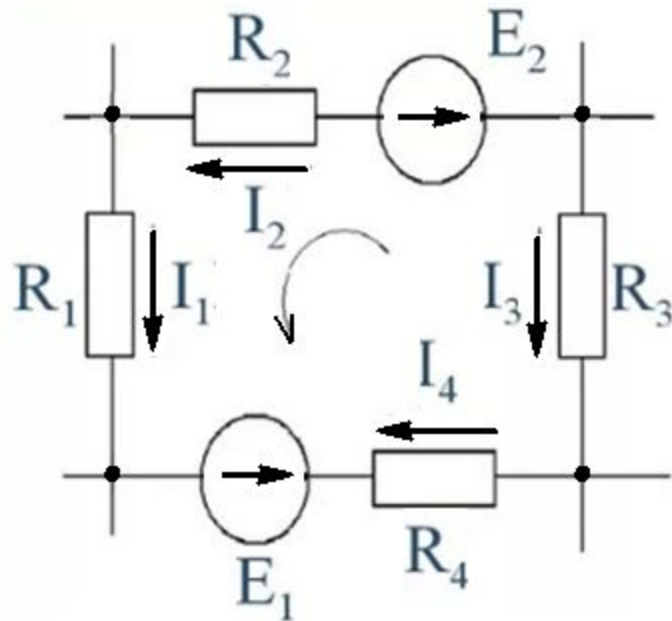
Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

При этом токи, направленные к узлу, записываются со знаком «плюс», а токи, направленные от узла, - со знаком «минус».

Второй закон Кирхгофа



$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 - E_2$$

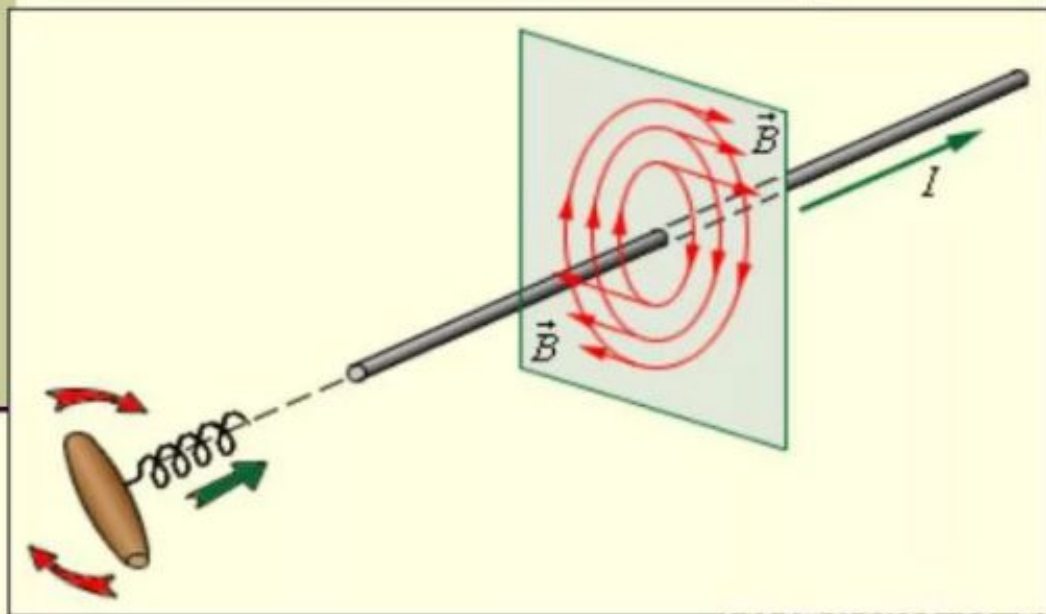
Алгебраическая сумма падений напряжений в ветвях любого замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре,:

$$\sum_{i=1}^n R_i I_i = \sum_{i=1}^n E_i$$

Направление обхода контура выбираем произвольно (в примере против часовой стрелки).

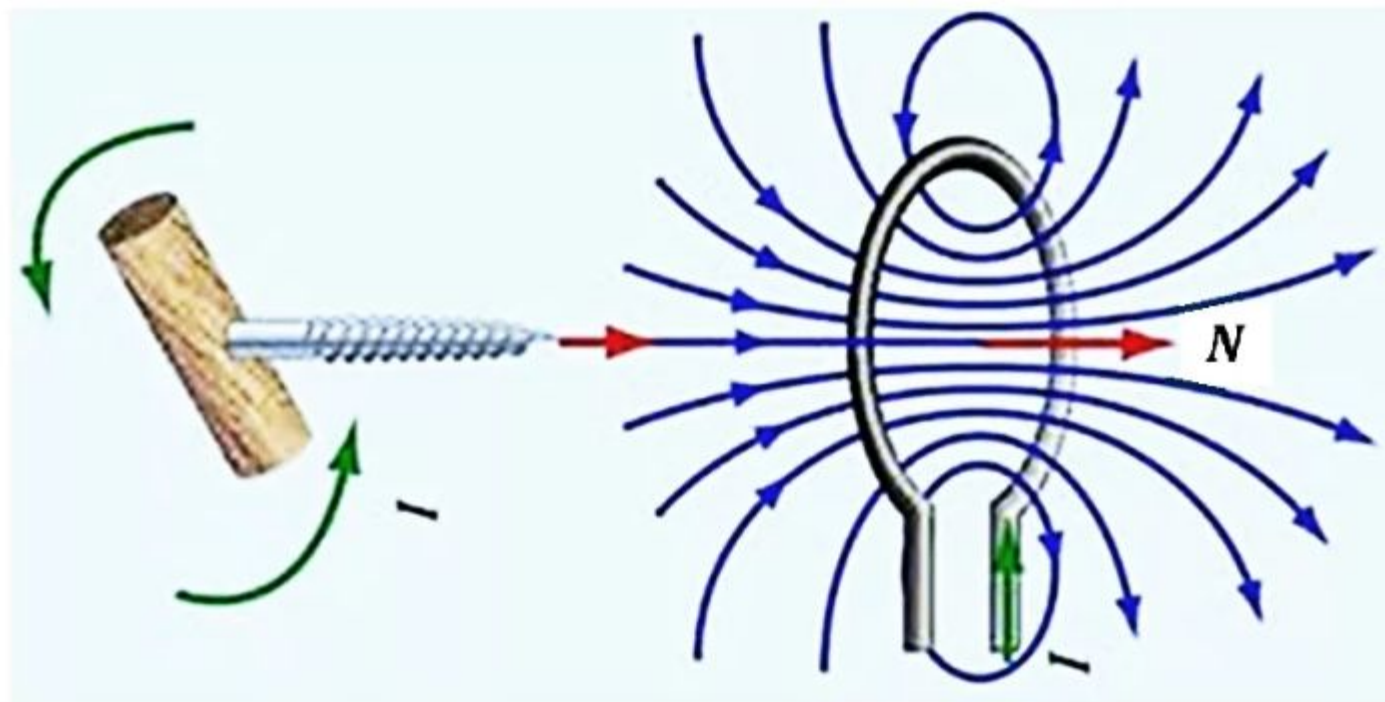
Примечание: знак + для ЭДС выбирается в том случае, если направление ее действия совпадает с направлением обхода контура, а для напряжений на резисторах знак + выбирается, если в них совпадают направление протекания тока и направление обхода.

ПРАВИЛО БУРАВЧИКА



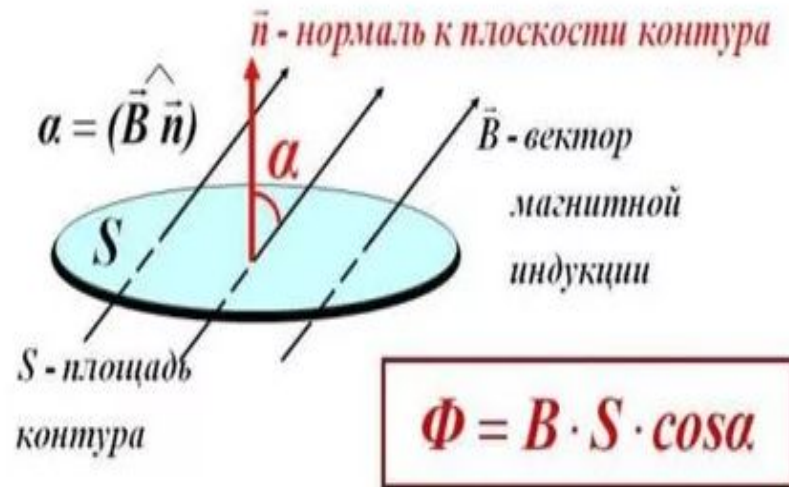
Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика указывает направление вектора магнитной индукции.

Определение направления силовых линий магнитного поля тока (правило буравчика)



Электромагнитная индукция

Магнитный поток Φ - физическая величина, численно равная произведению модуля магнитной индукции на площадь контура и на косинус угла между нормалью к контуру и вектором магнитной индукции.



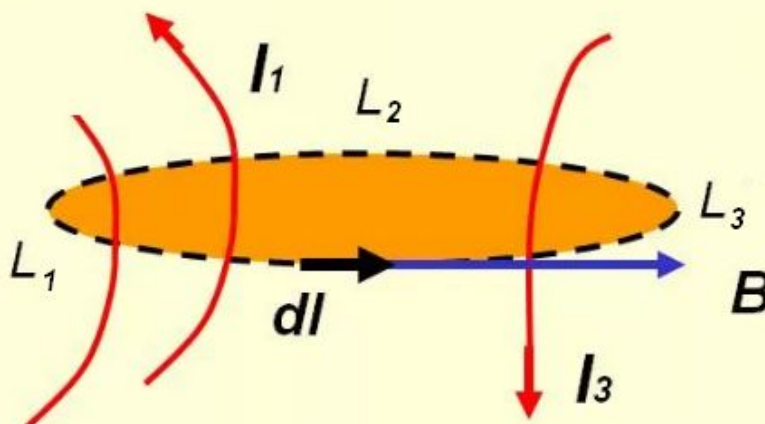
Закон электромагнитной индукции: в замкнутом контуре, сцепленном с магнитным потоком Φ , индуцируется ЭДС, значение которой равно

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

При этом направление ЭДС определяется **правилом буравчика**: при поступательном движении буравчика вдоль магнитных линий направление вращения его рукоятки определяет направление индуцированной ЭДС.

Закон полного тока

Циркуляция вектора $\vec{H}$ по любому замкнутому контуру L равна алгебраической сумме токов, пронизывающих любую поверхность, опирающуюся на данный контур



$$\int_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^N \vec{I}_i$$

$$H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_3 L_3 = I_3 + I_2 - I_1$$

Наименование закона	Аналитическое выражение закона	Формулировка закона
Закон (принцип) непрерывности магнитного потока	$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$	Поток вектора магнитной индукции через замкнутую поверхность равен нулю
Закон полного тока	$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum I$	Циркуляция вектора напряженности вдоль произвольного контура равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром



Закон Ома для магнитных цепей

Из формулы, представляющей закон полного тока, следует

$$H = \frac{Iw}{l}$$

Поскольку

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 \mu_r \frac{Iw}{l}$$

то магнитный поток для однородной магнитной цепи
определиться

$$\Phi = BS = \mu_0 \mu_r \frac{Iw}{l} S$$

Формальная аналогия магнитных и электрических цепей

Электрическая цепь		Магнитная цепь
Ток I, A		Поток $\Phi, Bб$
ЭДС E, B		МДС (НС) F, A
Электрическое сопротивление $R, Ом$		Магнитное сопротивление $R_M, ГН^{-1}$
Электрическое напряжение U, B		Магнитное напряжение U_M, A
Первый закон Кирхгофа: $\sum I = 0$		Первый закон Кирхгофа: $\sum \Phi = 0$
Второй закон Кирхгофа: $\sum E = \sum U$		Второй закон Кирхгофа: $\sum F = \sum U_M$
Наименование закона	Аналитическое выражение закона	Формулировка закона
Первый закон Кирхгофа	$\sum \Phi = 0$	Алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитопровода равна нулю
Второй закон Кирхгофа	$\sum F = \sum U_M = \sum Hl$	Алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС, действующих в контуре
Закон Ома	$U_M = \Phi R_M,$ где $R_M = l / \mu_0 \mu S$	Падение магнитного напряжения на участке магнитопровода длиной l равно произведению магнитного потока и магнитного сопротивления R_M участка



Министерство образования Нижегородской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Уренский
индустриально-энергетический техникум»

Законы Кирхгофа

1 закон: алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитопровода равна 0.

$$\sum \Phi = 0$$

2 закон: основан на законе полного тока

Алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС, действующих в контуре.

$$\sum F_M = \sum U_M = \sum NI$$

Закон Ома и закон Кирхгофа для расчета магнитных цепей не используют, т.к. магнитное сопротивление, в отличие от электрического, зависит от величины магнитного напряжения.

Для расчета магнитных цепей используют закон полного тока.



Министерство образования Нижегородской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Уренский
индустриально-энергетический техникум»

Закон Ома и закон Кирхгофа для магнитных цепей

Закон Ома:

Магнитное напряжение на любом участке определяется

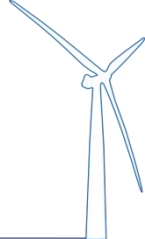
$$U_M = H \cdot l = \frac{B \cdot l}{\mu\mu_0} = \frac{\Phi \cdot l}{\mu\mu_0 \cdot S}, \text{ т.к.} \quad H = \frac{B}{\mu\mu_0}; \quad B = \frac{\Phi}{S}$$

В итоге

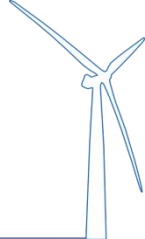
$$U_M = \Phi \cdot R_M,$$

где $\Phi = \frac{U_M}{R_M}$; $R_M = \frac{l}{\mu\mu_0 \cdot S}$ - магнитное сопротивление

Магнитный поток прямо пропорционален магнитному напряжению и обратно пропорционален магнитному сопротивлению.



Электрическая цепь	Магнитная цепь
Ток I, A	Поток $\Phi, Bб$
ЭДС E, B	МДС (НС) F, A
Электрическое сопротивление $R, Ом$	Магнитное сопротивление $R_M, Гн^{-1}$
Электрическое напряжение U, B	Магнитное напряжение U_M, A
Первый закон Кирхгофа: $\sum I = 0$	Первый закон Кирхгофа: $\sum \Phi = 0$
Второй закон Кирхгофа: $\sum E = \sum U$	Второй закон Кирхгофа: $\sum F = \sum U_M$
Закон Ома: $U = IR$	Закон Ома: $U_M = \Phi R_M$



Наименование закона	Аналитическое выражение закона	Формулировка закона
Первый закон Кирхгофа	$\sum \Phi = 0$	Алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитопровода равна нулю
Второй закон Кирхгофа	$\sum F = \sum U_M = \sum Hl$	Алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС, действующих в контуре
Закон Ома	$U_M = \Phi R_M,$ где $R_M = l / \mu_0 \mu S$	Падение магнитного напряжения на участке магнитопровода длиной l равно произведению магнитного потока и магнитного сопротивления R_M участка

Наименование закона	Аналитическое выражение закона	Формулировка закона
Закон (принцип) непрерывности магнитного потока	$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$	Поток вектора магнитной индукции через замкнутую поверхность равен нулю
Закон полного тока	$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum I$	Циркуляция вектора напряженности вдоль произвольного контура равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром



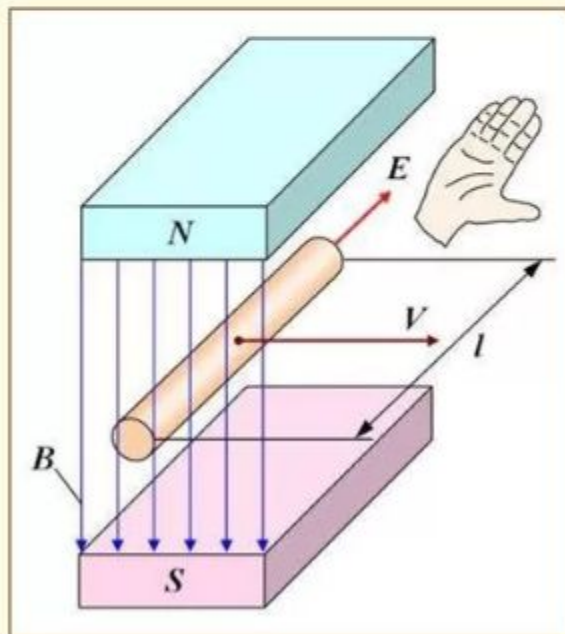
Электромагнетизм. Магнитные цепи



Индукционное действие магнитного поля

Наведение ЭДС при движении проводника в магнитном поле

При равномерном движении проводника со скоростью V (м/с) длиной l (м), в магнитном поле с индукцией B (Тл), в нем вследствие электромагнитной индукции наводится ЭДС (В), определяемая формулой:



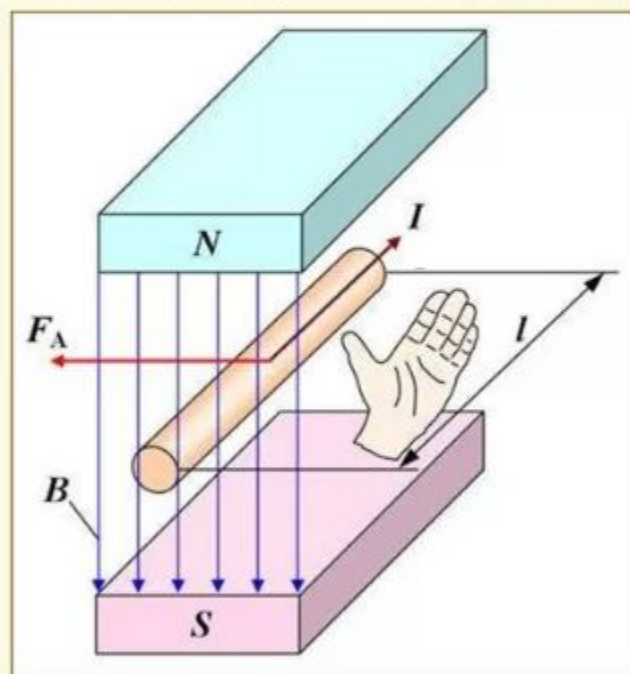
$$E = B \cdot l \cdot V$$

Возникновение ЭДС при движении проводника в магнитном поле.
Правило правой руки

Электромагнетизм. Магнитные цепи

Электромеханическое действие магнитного поля

Действие магнитного поля на проводник с током (Закон Ампера)



$$F = B \cdot l \cdot I$$

где $F(H)$ - сила;
 $I (A)$ - ток

Возникновение электромагнитной силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

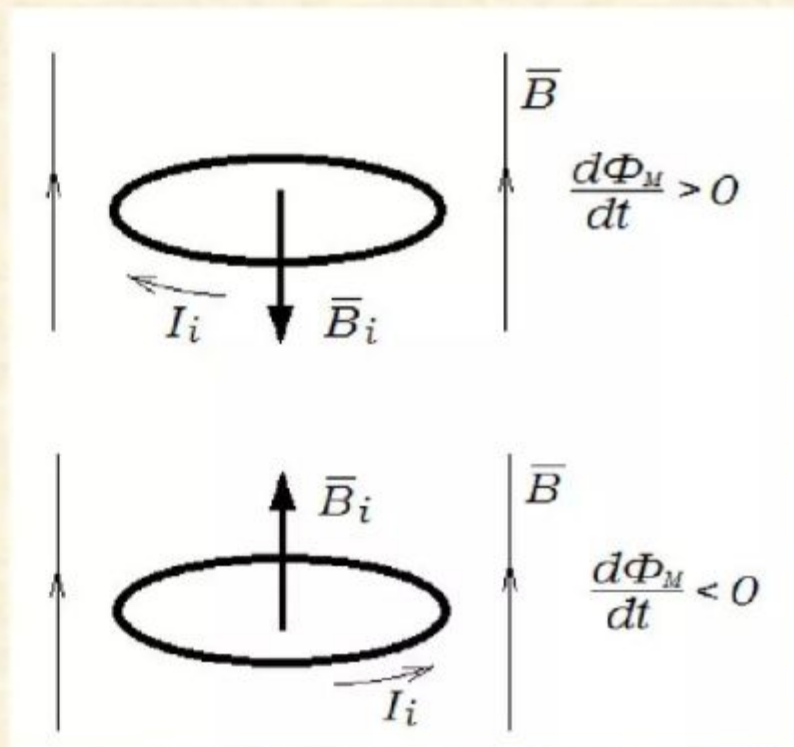
Правило левой руки

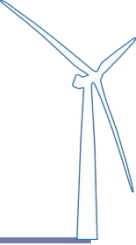
Правило Ленца:

Индукционный ток при электромагнитной индукции всегда направлен так, что созданное им магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, который вызвал этот ток.

Так система проявляет свойство инерции.

Правило Ленца является следствием закона сохранения энергии.





2. Общие вопросы машин постоянного тока.

Электрические машины

Электрическими машинами в электротехнике называют устройства, служащие для выработки электроэнергии и для преобразования её в другие виды энергии



«Генератор»

устройство, служащее для выработки электроэнергии

«Электродвигатель»

» *устройство, служащее для преобразования электроэнергии в механическую работу*



КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
МАШИНЫ

ДВИГАТЕЛИ

ГЕНЕРАТОРЫ

ПЕРЕМЕННОГО
ТОКА

ПОСТОЯННОГО
ТОКА

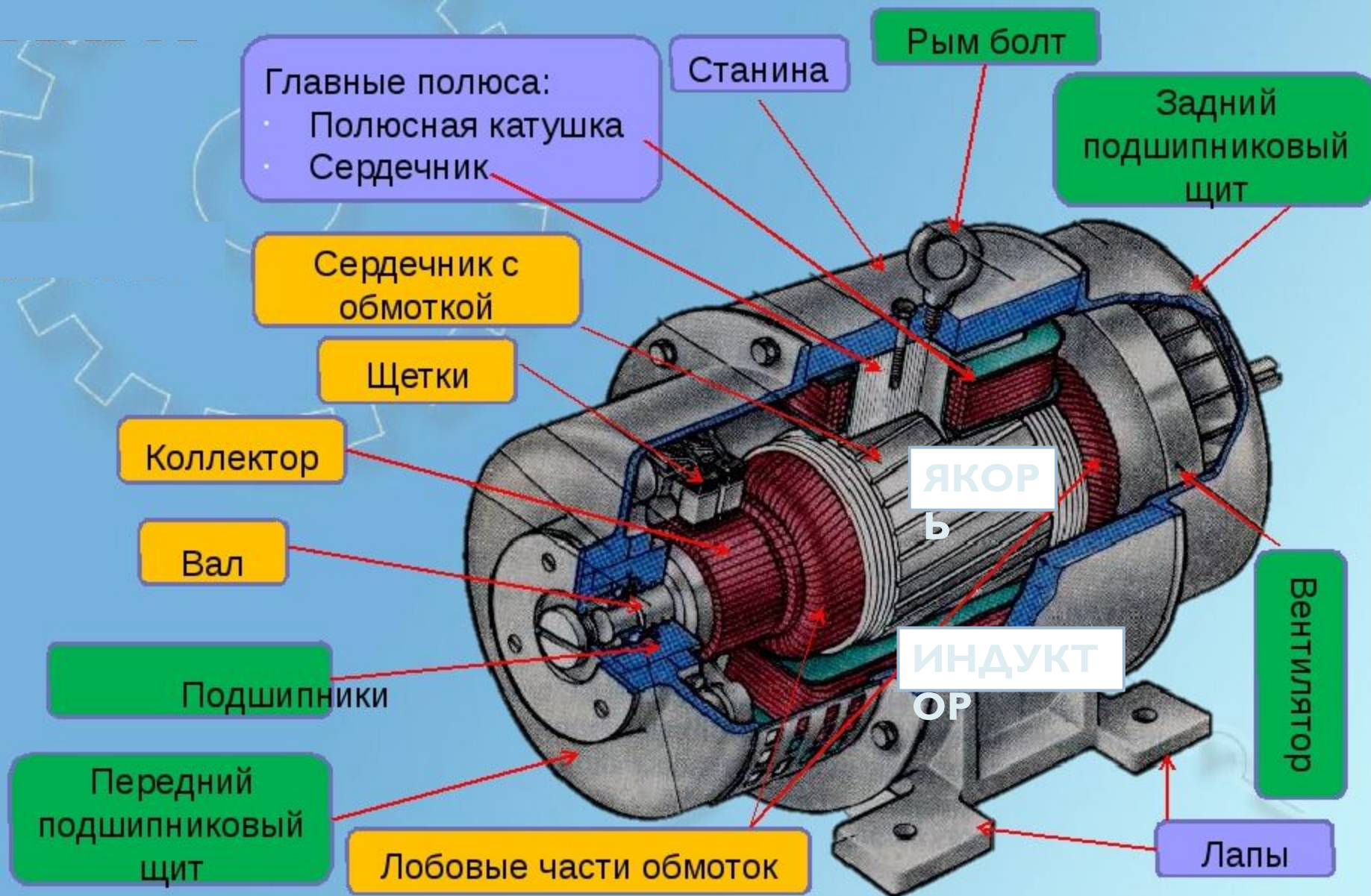
АСИНХРОННЫЕ

СИНХРОННЫЕ

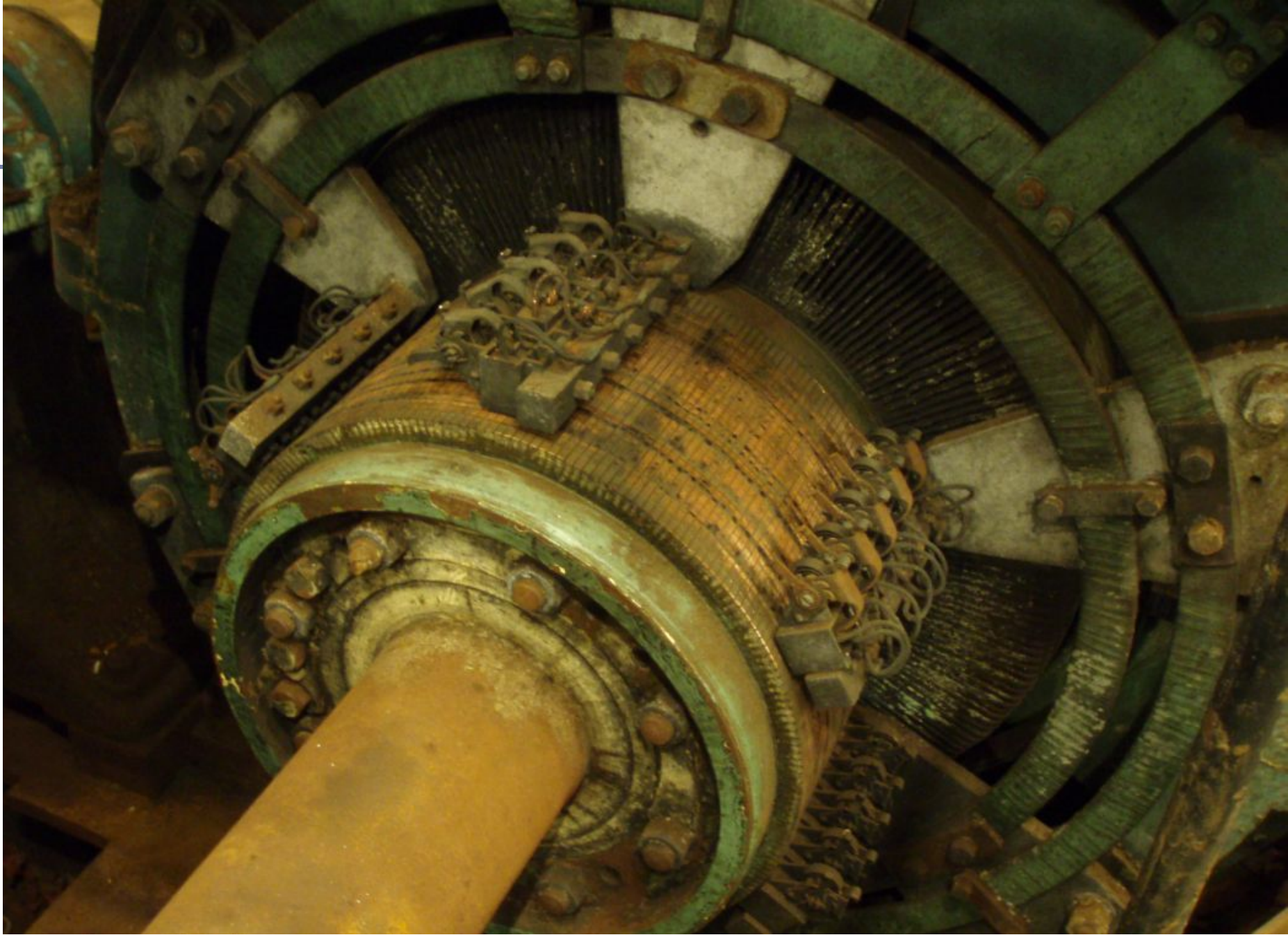
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ
РОТОРОМ

С ФАЗНЫМ
РОТОРОМ

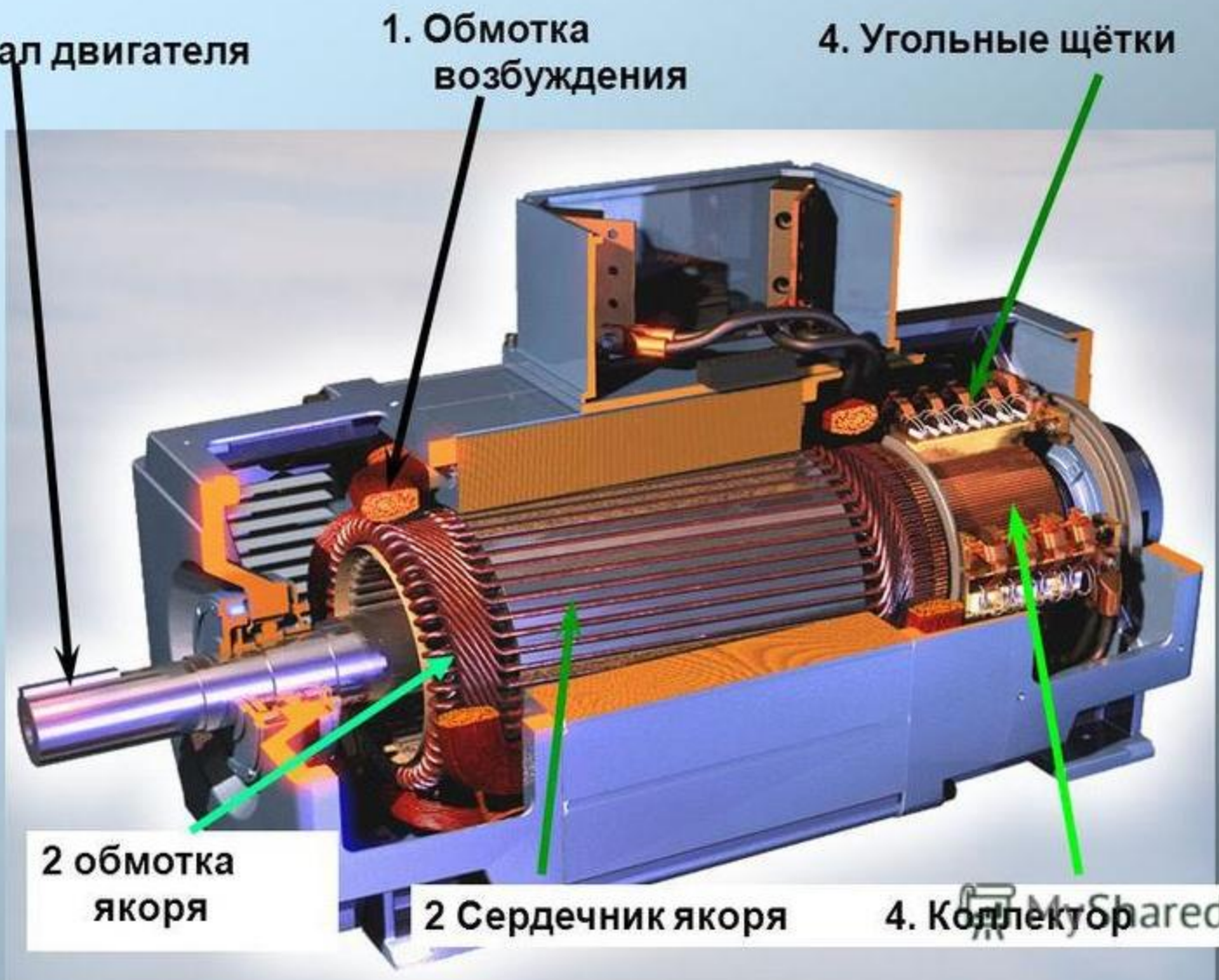
Устройство машины постоянного тока

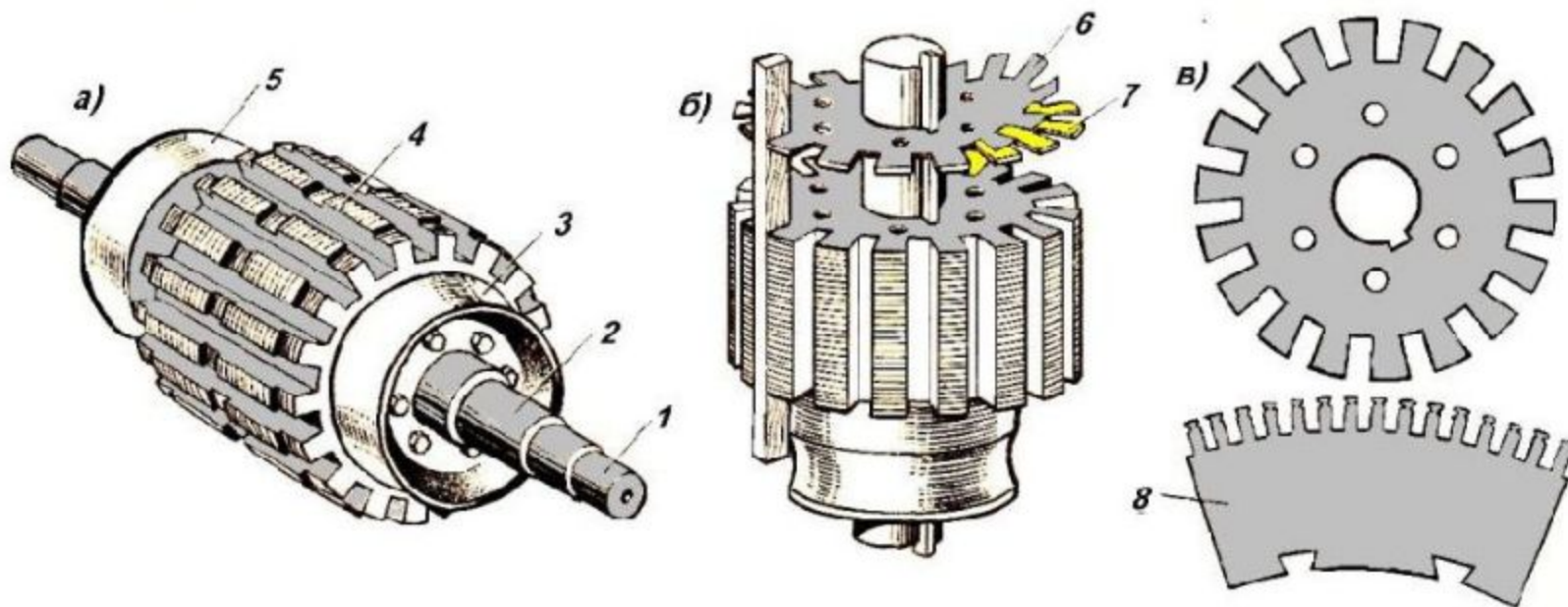






- Вал двигателя

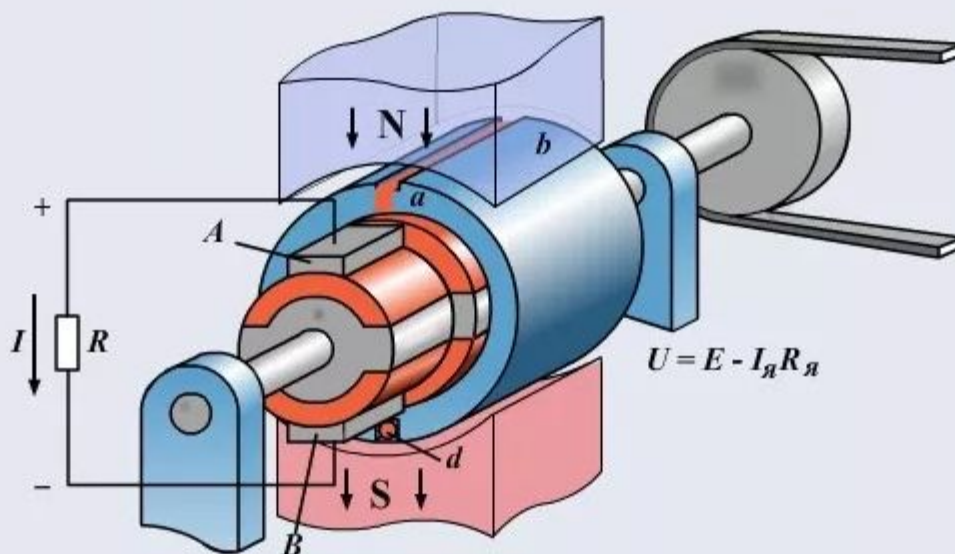




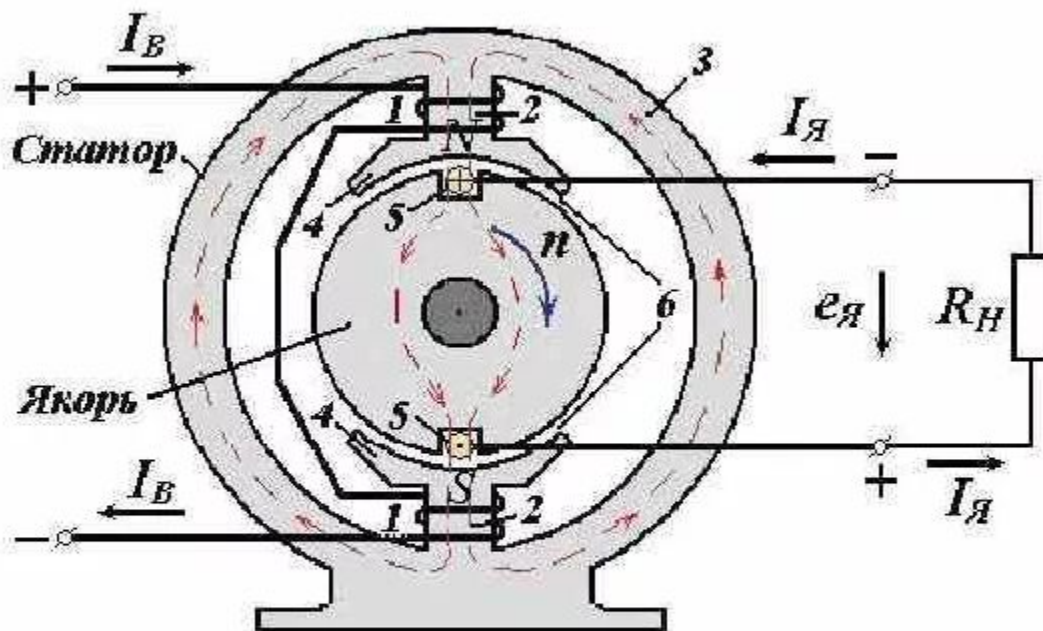
Сердечник якоря машины постоянного тока без обмотки (а); сборка якоря (б); стальные листы якоря (s):

1 — вал якоря; 2 — место для установки коллектора; 3, 5 — нажимные шайбы (обмотко-держатели); 4 — сердечник якоря; 6 — лаковая пленка; 7 — стальной лист; 8 — сегмент сердечника

Упрощенная модель генератора постоянного тока

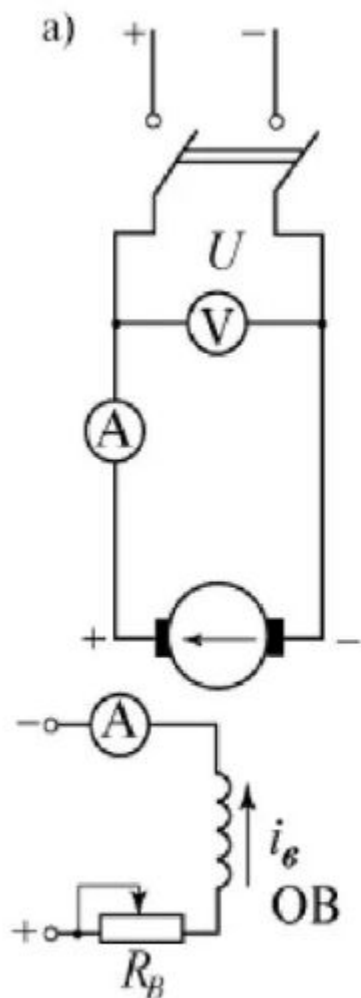


Машина постоянного тока

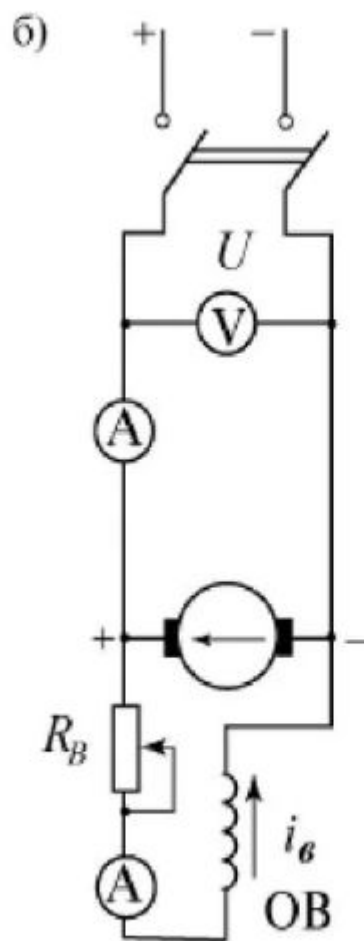


1 - обмотка возбуждения; 2 - полюсы; 3 – станина (ядро); 4 - полюсный наконечник; 5 - проводники якорной обмотки; 6 - воздушный зазор машины.

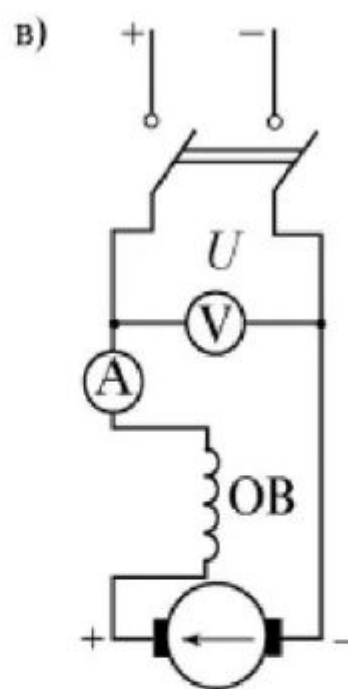
18



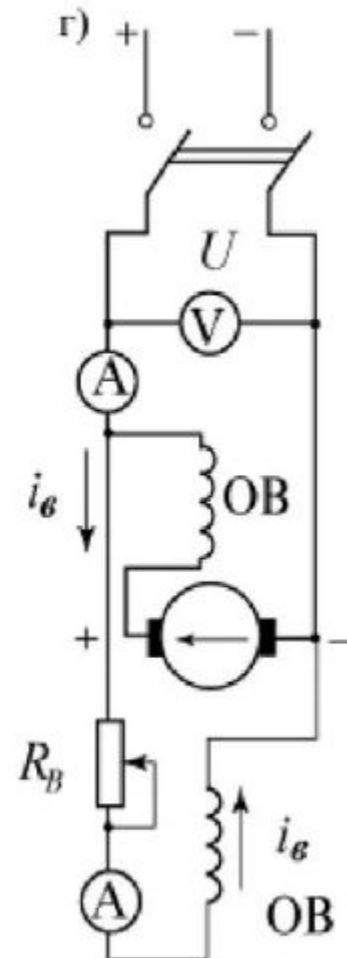
**Независимое
возбуждение**



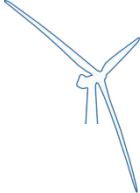
**Параллельное
возбуждение**



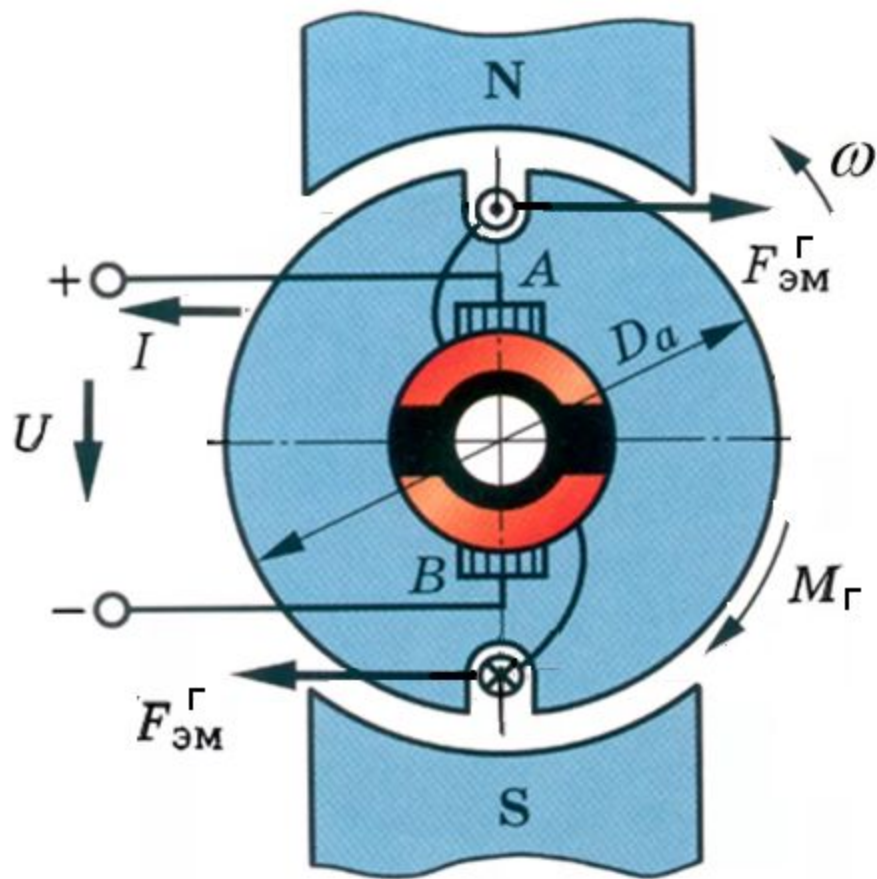
**Последовательное
возбуждение**



**Смешанное
возбуждение**

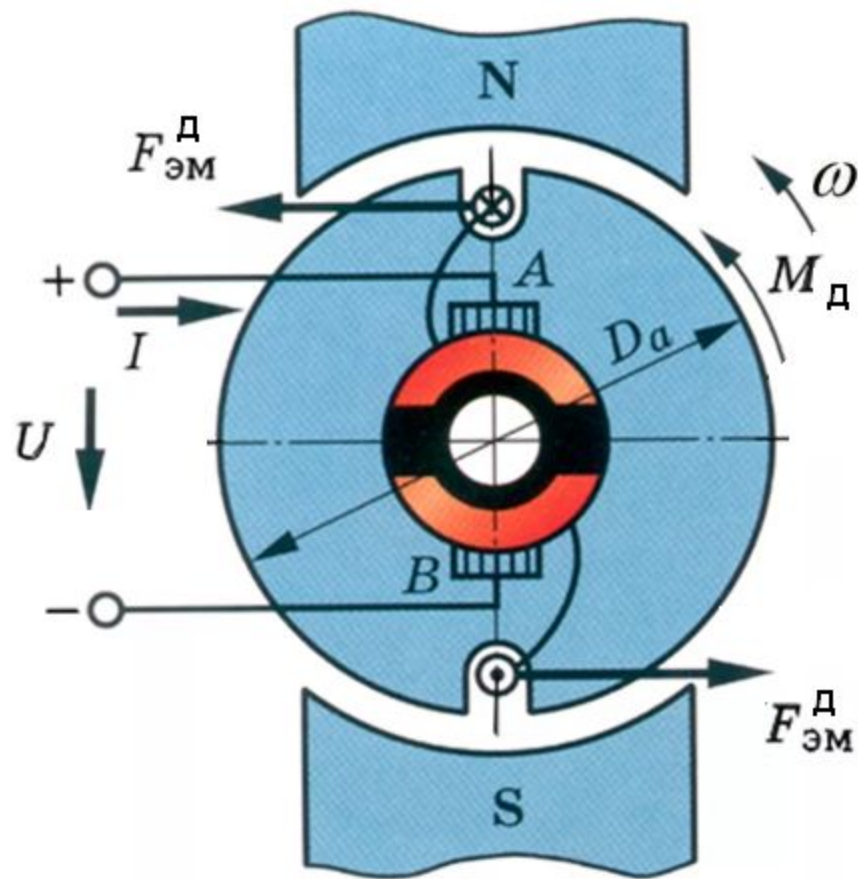


Генератор



$$U = E - IR$$

Двигатель



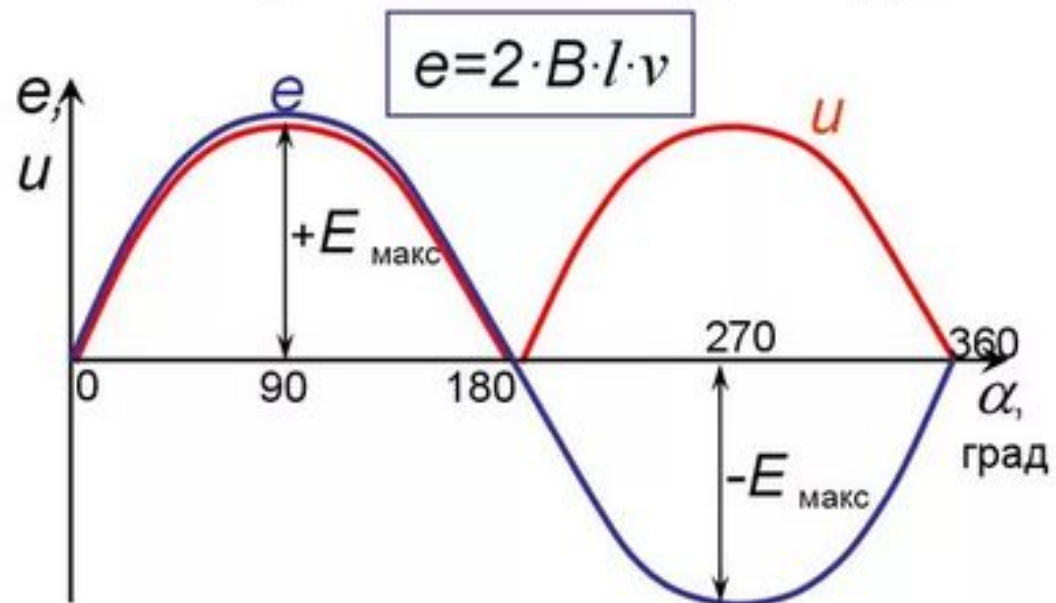
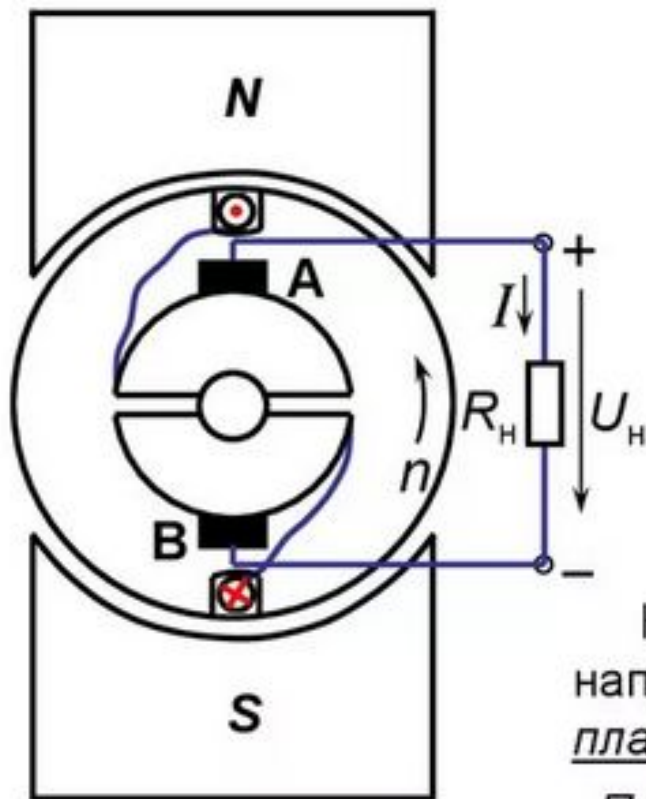
$$U = E + IR$$

Принцип действия машин постоянного тока

Характерным признаком коллекторных МПТ является наличие у них коллекторно-щеточного узла – механического преобразователя переменного тока в постоянный и наоборот

Принцип действия генератора постоянного тока

При вращении якоря в витке якорной обмотки наводится ЭДС



Когда ЭДС в витке якорной обмотки меняет свое направление происходит смена коллекторных пластин под щетками.

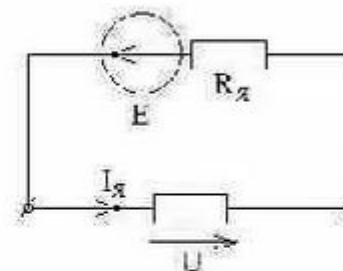
Полярность щеток всегда остается неизменной независимо от положения витка якорной обмотки.



Уравнения электрического состояния МПТ

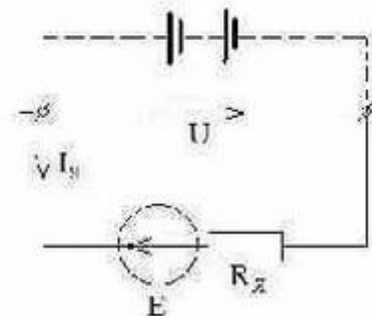
- в режиме генератора

$$U = E - R_{\text{я}} I_{\text{я}}$$



- в режиме двигателя

$$U = E + R_{\text{я}} I_{\text{я}}$$





9

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА МПТ

Электродвижущая сила на щетках машины

$$\begin{aligned}
 E &= N B l v = (Nl/S) (v) (BS) = \\
 &= (NlS) (n\pi D/60) \Phi = \\
 &= (\pi NlSD/60) n \Phi = C_e \cdot n \cdot \Phi
 \end{aligned}$$

$$E = C_e \cdot n \cdot \Phi$$

**ЭДС машины постоянного тока
прямопропорциональна скорости вращения
якоря n , об/мин и магнитному потоку Φ , Вб
полюсов.**

N - число проводников обмотки якоря

B - магнитная индукция

l - длина проводника в якоре

v - линейная скорость его движения

S - площадь сечения полюсов

$C_e = \pi NlSD/60$ - постоянная машины



Электромагнитная сила:

$$F_{эм} = B_{\delta} l_i i_a$$

Электромагнитный момент (Нм):

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = c_m \Phi I_a$$

$$c_m = pN / (2\pi a)$$

- величина, постоянная для данной машины, аналогичная c_e .

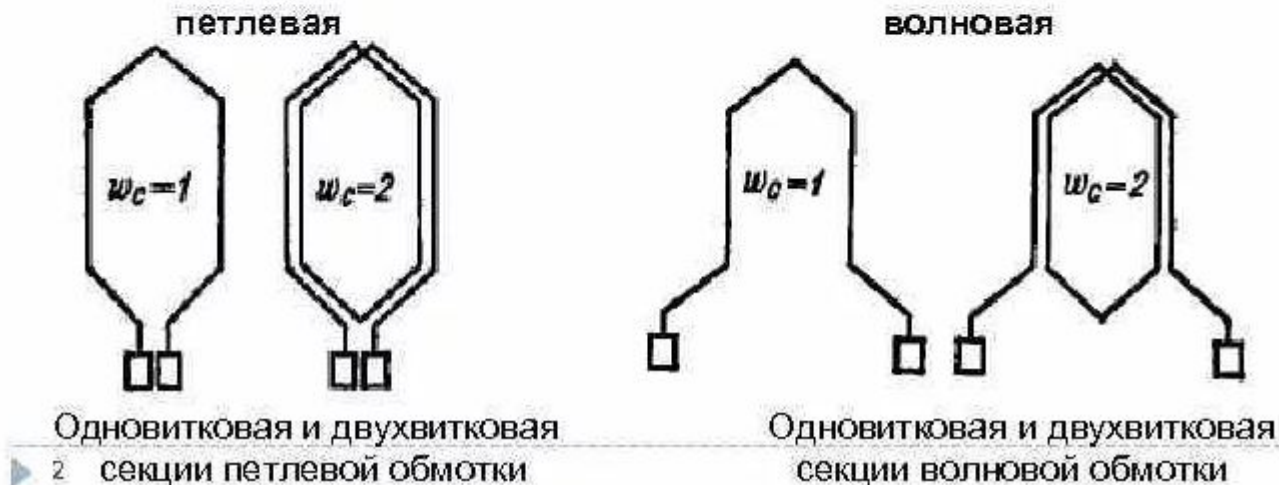
Между этими величинами есть взаимосвязь:

$$c_m / c_e = 60apN / (pN2\pi a) = 30 / \pi = 9.55$$

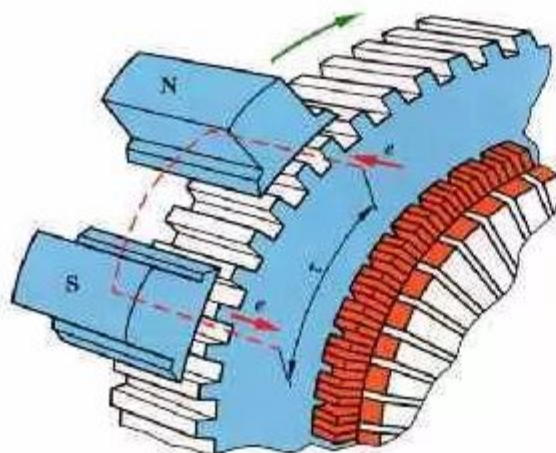
Обмотки укладываются в пазы на внешней поверхности якоря, такие обмотки называются **барабанными**.

Основным элементом обмотки является **секция (катушка)**, которая состоит из одного или нескольких последовательно соединенных витков. Секция присоединена своими концами к коллекторным пластинам.

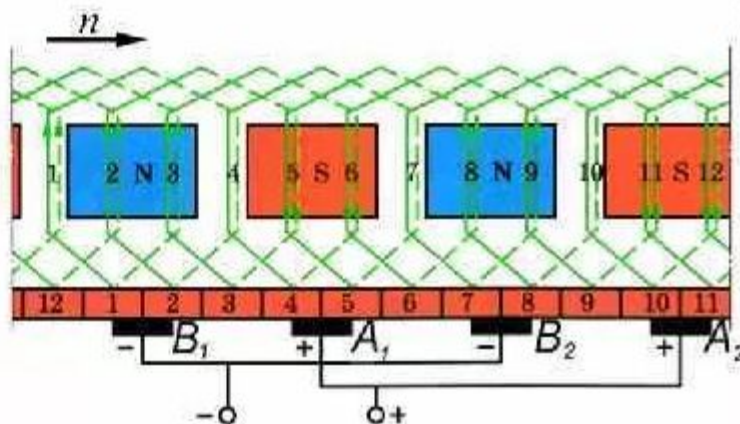
По форме **секций** обмотки подразделяются на **петлевые** и **волновые**. Существуют также обмотки комбинированные, которые представляют собой сочетание этих двух обмоток.



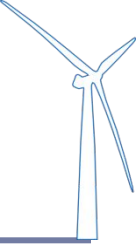
Якорь машины постоянного тока



Секционный магнитопровод
якоря



Развернутая схема обмотки



3. Двигатели постоянного тока.

Механические характеристики двигателя постоянного тока

- Механическая характеристика $n = f(M)$ определяет зависимость частоты вращения двигателя от развиваемого им момента. Из основного уравнения для цепи якоря следует, что частота вращения определяется выражением

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} = c_E \cdot n \cdot \Phi + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

- следует, что частота вращения определяется выражением

- $$n = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{c_E \cdot \Phi},$$

- которое называется электромеханической характеристикой $n = f(I_{\text{я}})$.

- В установившемся режиме ($M = M_C$) ток, потребляемый двигателем, определяется моментом нагрузки на валу

- $$I_{\text{я}} = \frac{M_C}{c_E \cdot \Phi},$$

Способы регулирования частоты вращения:

1. Изменением
напряжения на якоре

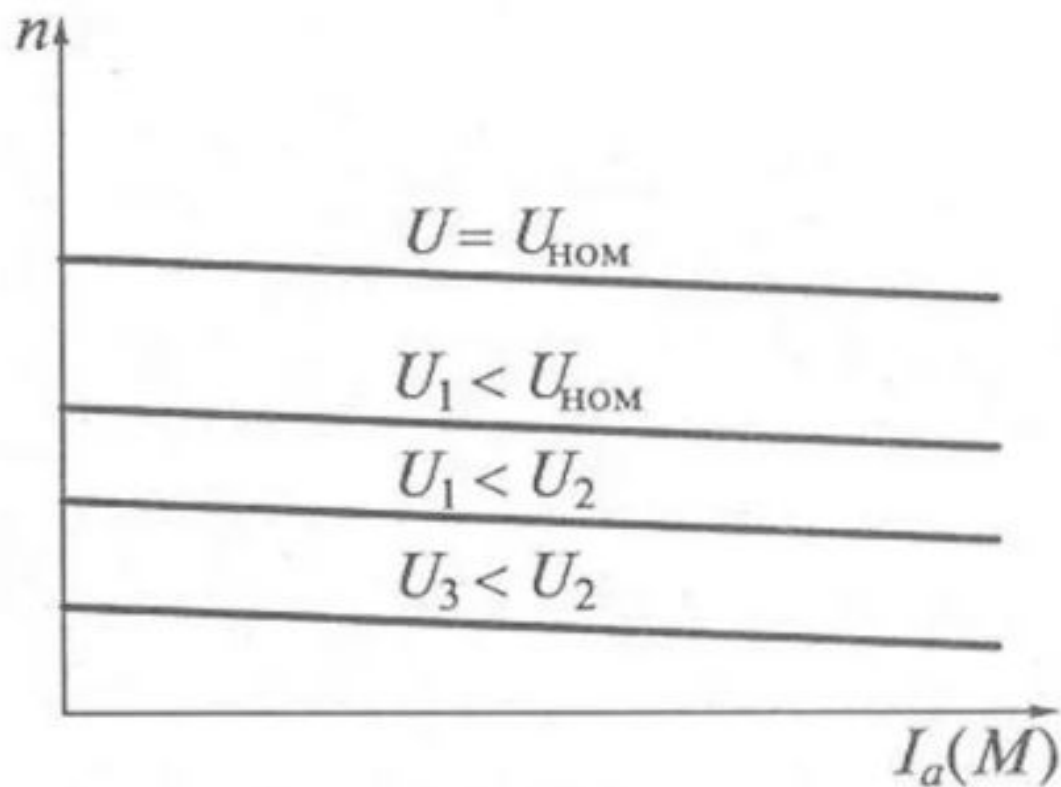
2. Изменением сопротивления якоря:
введением реостата в цепь якоря.
Влияет только на потери частоты
под нагрузкой. Не экономично –
потери на реостате.

$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{R_{\text{я}} M}{C_E C_M \Phi^2}$$

3. Изменением величины магнитного
потока возбуждения: введение реостата
в цепь обмотки возбуждения. Влияет в
большей степени на частоту холостого
хода. Наиболее экономично.

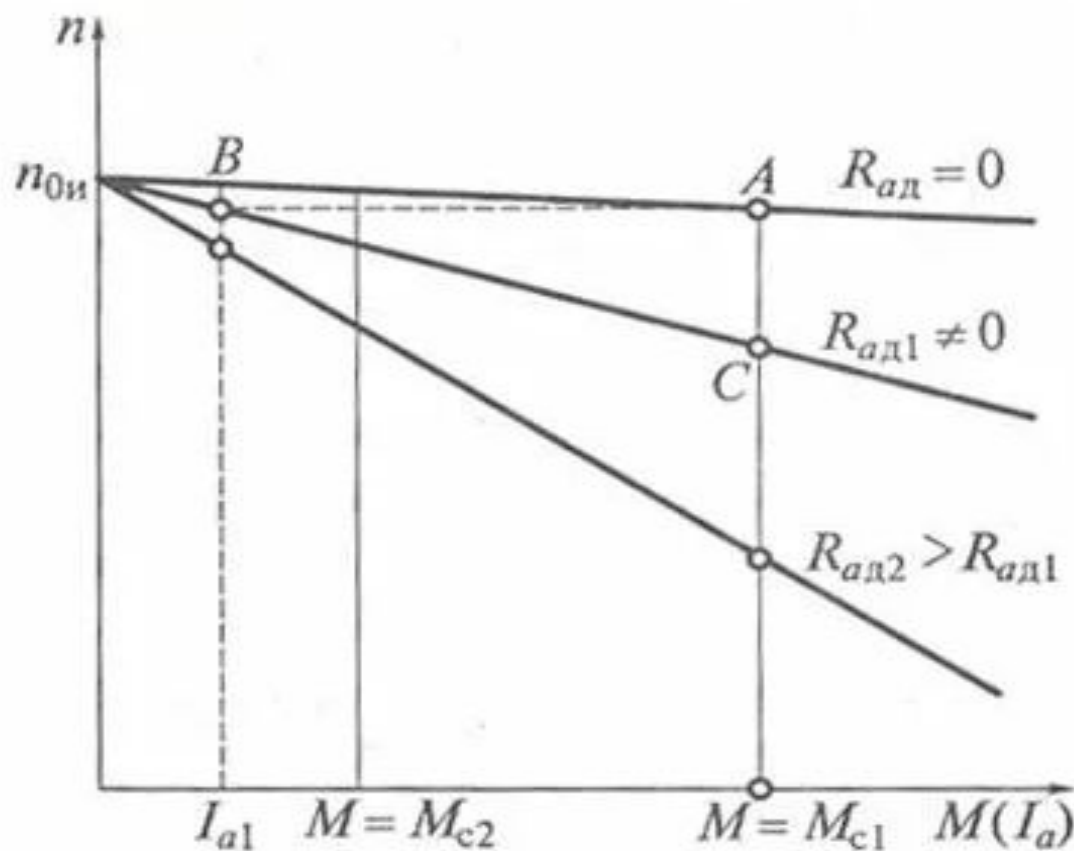


Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока



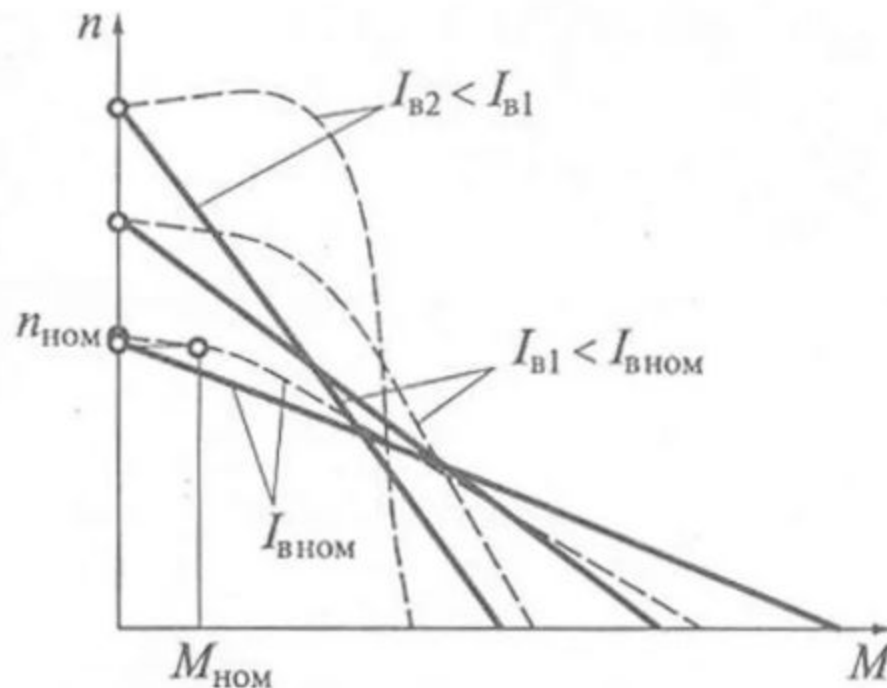
Скоростные и механические характеристики двигателя при плавном изменении напряжения, подводимого к цепи якоря

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока



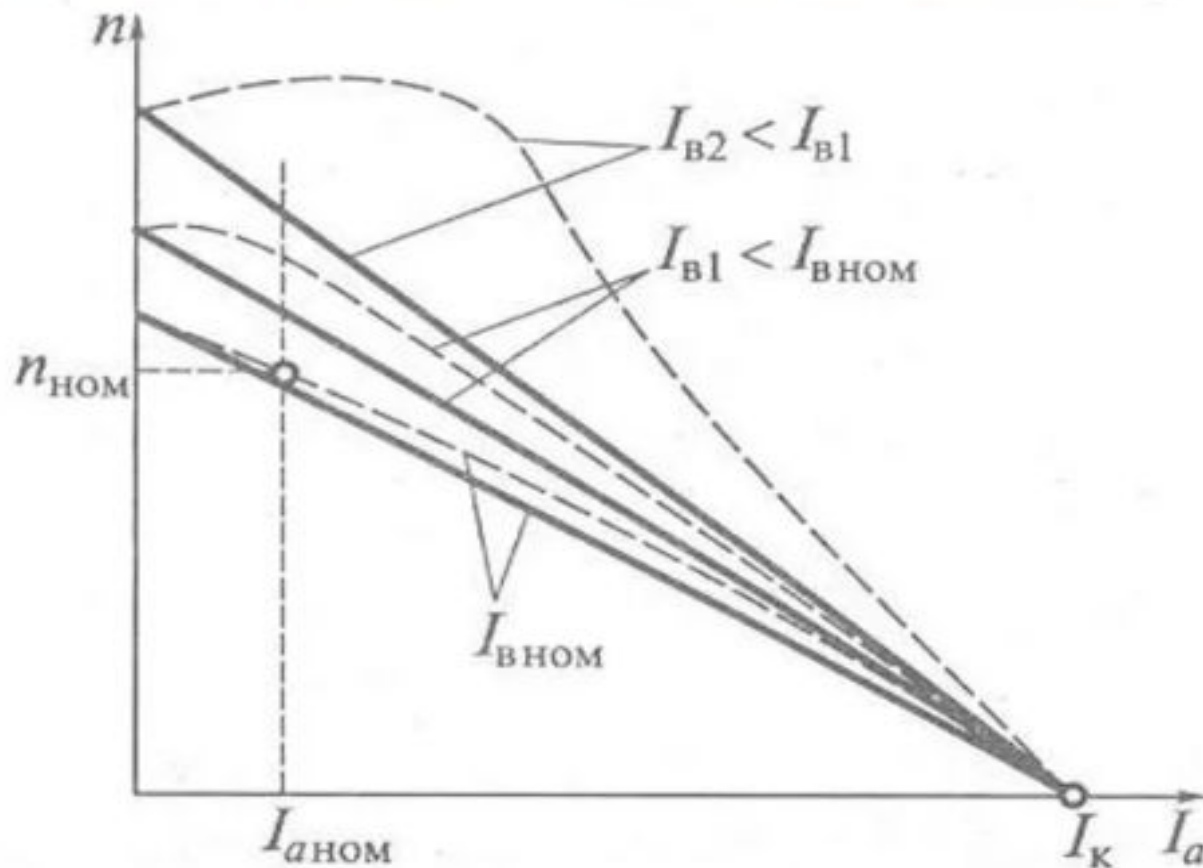
Механические (скоростные) характеристики при изменении сопротивления цепи якоря

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

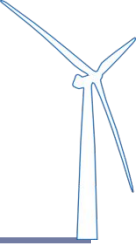


Механические характеристики двигателей
независимого (параллельного) возбуждения при
изменении тока возбуждения

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока



Скоростные характеристики двигателей независимого (параллельного) возбуждения при изменении тока возбуждения

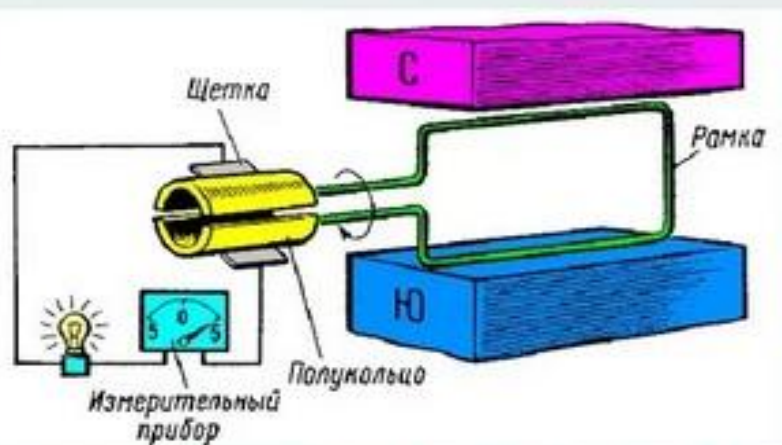


4. Генераторы постоянного тока.

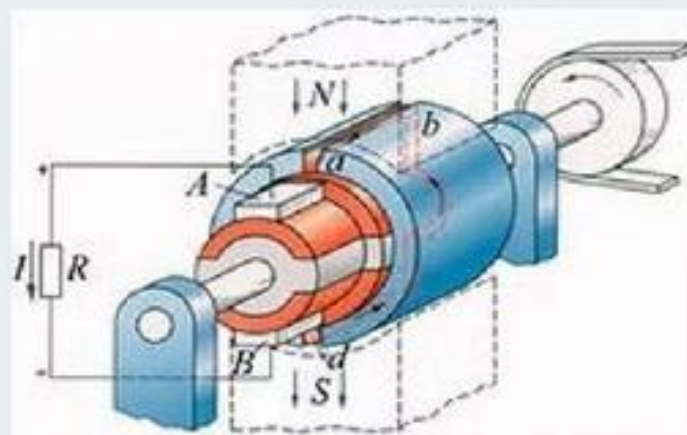


Генератор постоянного тока

Принцип действия



Упрощенная модель



Генератор постоянного тока преобразует механическую энергию в электрическую. В зависимости от способов соединения обмоток возбуждения с якорем генераторы подразделяются на:

- генераторы независимого возбуждения;
- генераторы с самовозбуждением;
 - генераторы параллельного возбуждения;
 - генераторы последовательного возбуждения;
 - генераторы смешанного возбуждения;



Генераторы малой мощности иногда выполняются с постоянными магнитами. Свойства таких генераторов близки к свойствам генераторов с независимым возбуждением.

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАТОРА

Любая электрическая машина обладает свойством обратимости, т.е. может работать в режиме генератора или двигателя. Если к зажимам приведенного во вращение якоря генератора присоединить сопротивление нагрузки, то под действием ЭДС якорной обмотки в цепи возникает ток

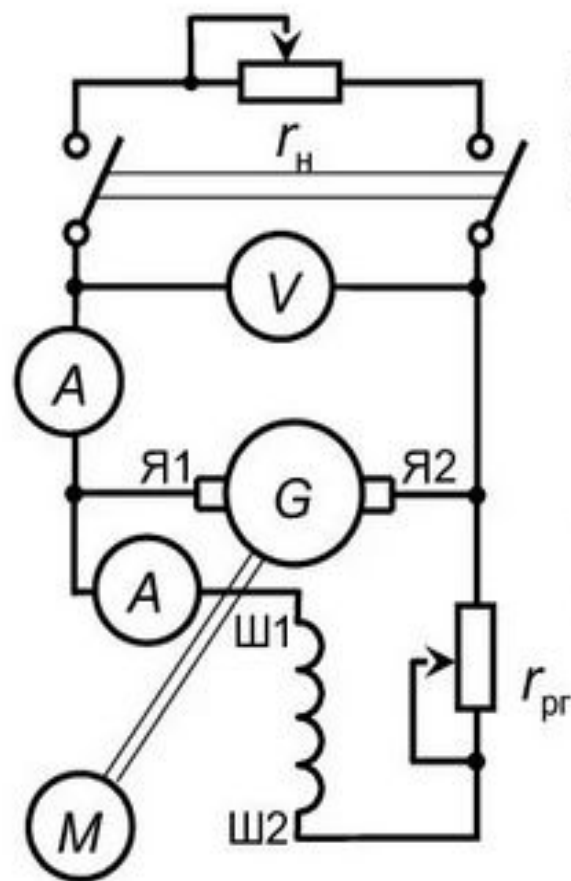
$$E = U + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

где U - напряжение на зажимах генератора;
 $R_{\text{я}}$ - сопротивление обмотки якоря.

$$U = E - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

называется основным уравнением генератора

Генератор постоянного тока параллельного возбуждения. Условие самовозбуждения



Принцип самовозбуждения ГПТ параллельного возбуждения основан на способности магнитной системы длительное время сохранять небольшой магнитный поток остаточного магнетизма.

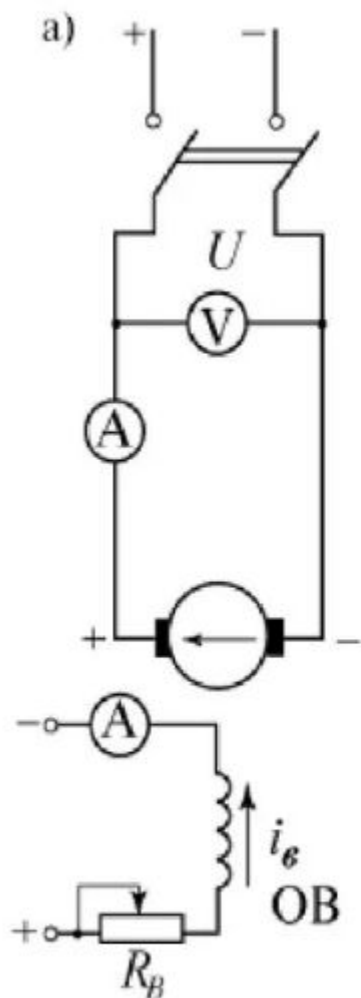
$$\Phi_{\text{ост}} = (2 - 3)\% \text{ от } \Phi_{\text{н}}.$$

При вращении якоря поток $\Phi_{\text{ост}}$ индуцирует в якорной обмотке ЭДС $E_{\text{ост}}$, под действием которой в обмотке возбуждения возникает небольшой ток $I_{\text{в ост}}$.

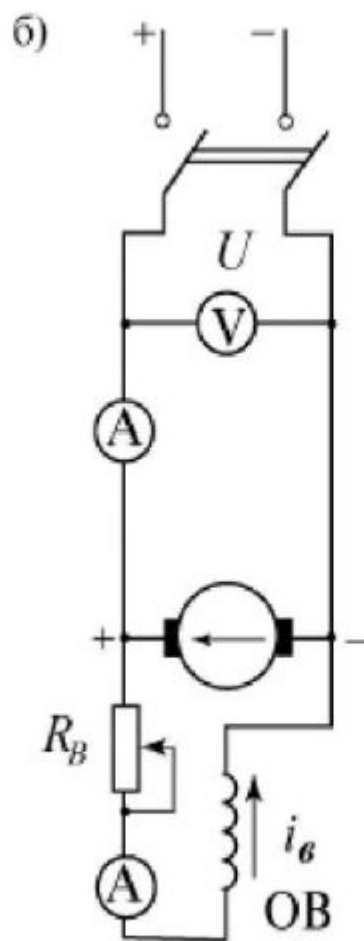
Если МДС обмотки возбуждения имеет такое же направление, что и $\Phi_{\text{ост}}$, то поток главных полюсов увеличивается. Это приводит к увеличению ЭДС генератора, отчего ток возбуждения вновь увеличивается.

Этот процесс самовозбуждения будет продолжаться до тех пор пока напряжение генератора не будет уравновешено падением напряжения в цепи возбуждения, т. е. $U_a = I_{\text{в}} r_{\text{в}}$.

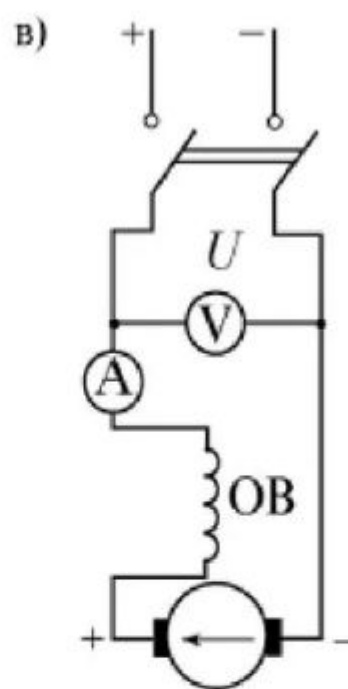
18



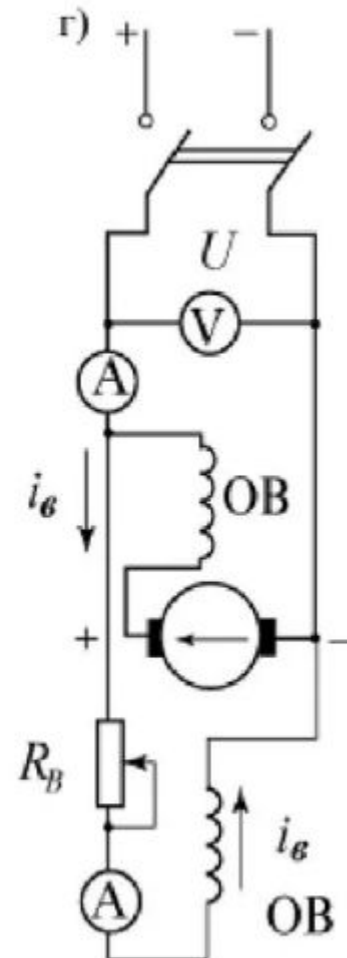
**Независимое
возбуждение**



**Параллельное
возбуждение**



**Последовательное
возбуждение**

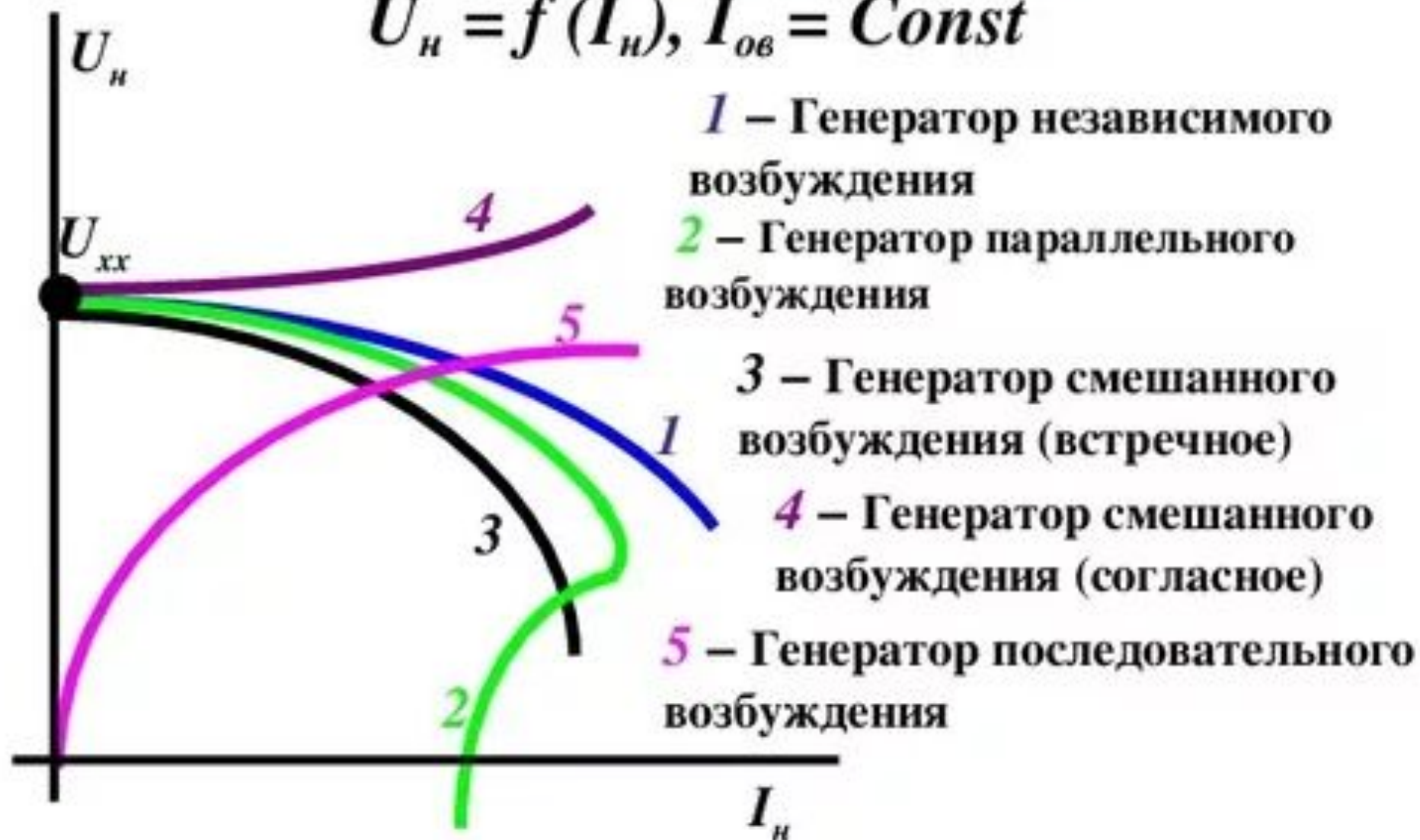


**Смешанное
возбуждение**

ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Внешняя характеристика

$$U_n = f(I_n), I_{ov} = Const$$

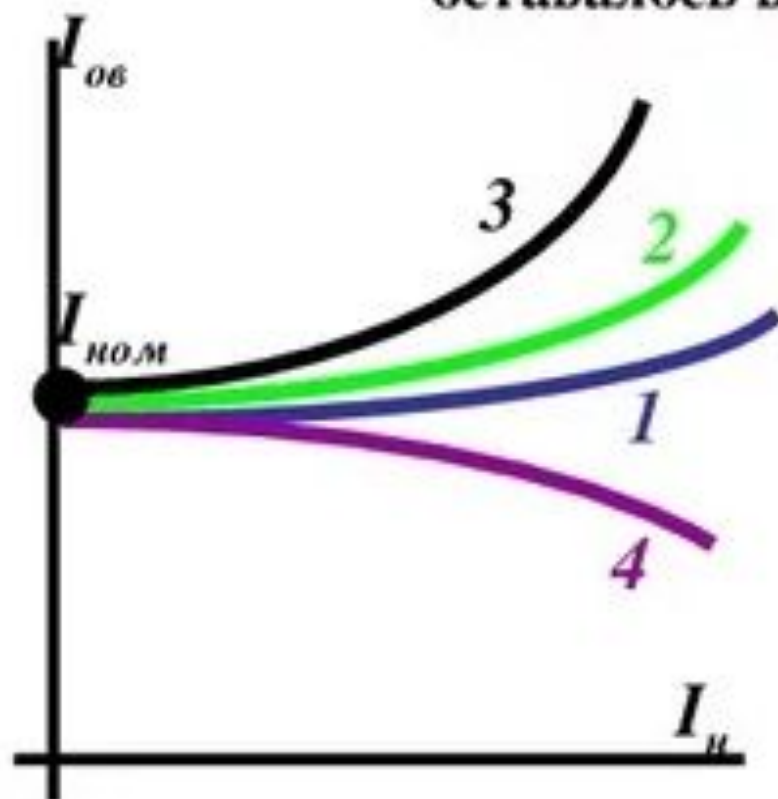


ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Регулировочная характеристика

$$I_{ov} = f(I_n), U_n = Const$$

Показывает, как надо изменить ток возбуждения при изменении нагрузки, чтобы напряжение на выходе генератора оставалось величиной постоянной

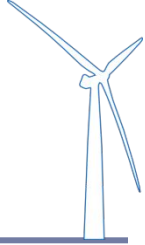


1 – Генератор независимого возбуждения

2 – Генератор параллельного возбуждения

3 – Генератор смешанного возбуждения (встречное)

4 – Генератор смешанного возбуждения (согласное)



**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ**

к.т.н., доцент Шайтор Николай Михайлович

