

■ ТРАНСПОРТНАЯ ■ ЭНЕРГЕТИКА

▪ (часть II)

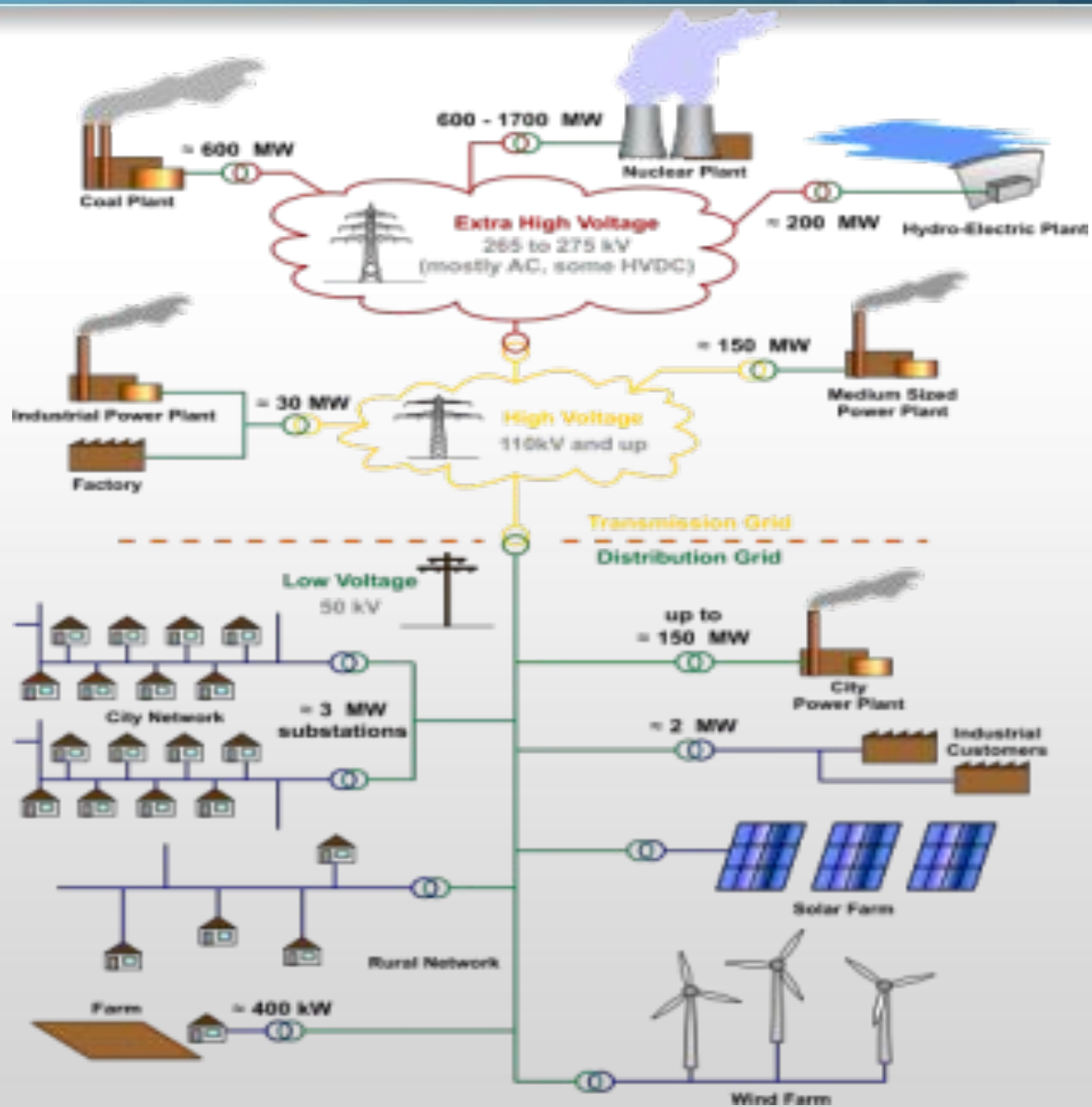
▪ Курс лекций для курсантов 2-х курсов

▪ Преподаватели: МИРОШНИЧЕНКО В.А.
РАДАЕВ А.В.

Электрические машины



1. Производство и транспортировка электроэнергии
2. Трансформаторы
3. Общие вопросы теории электрических машин
4. Асинхронные машины
5. Синхронные машины
6. Коллекторные машины



Электрический ток – упорядоченное движение заряженных частиц.

- Частица тока: электрон или ион.
- Единица измерения: Ампер (А), система SI.
- Замеряется амперметром.

Основные характеристики:

- Сила тока (амплитуда)
- Частота
- Форма кривой
- Плотность

Виды электрического тока:

- Переменный (alternate, AC)
- Постоянный (direct, DC)

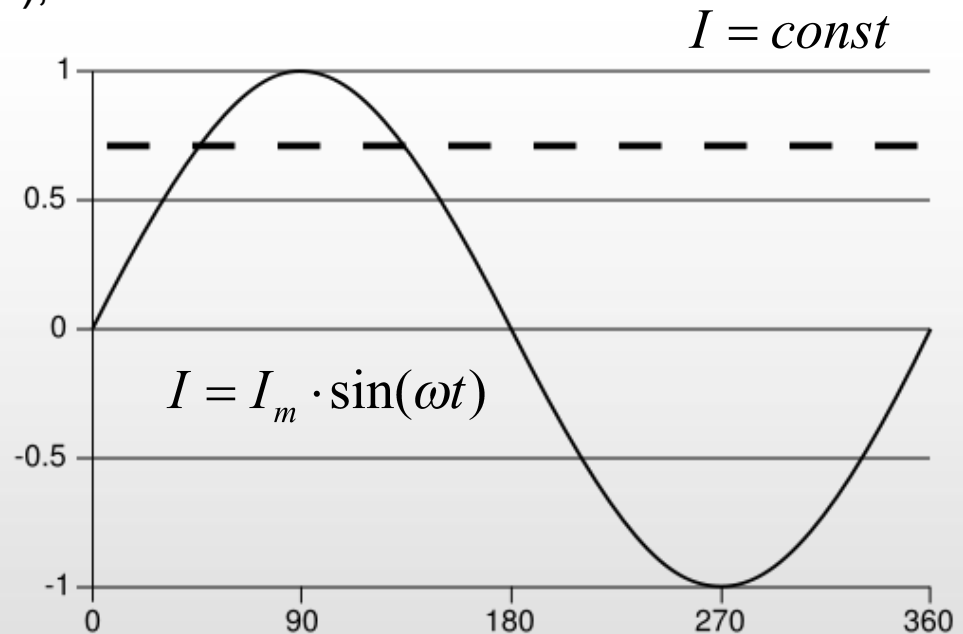
Закон Ома:

$$I = \frac{U}{R}$$

I – сила тока, А

U – напряжение участка, определяемое разницей потенциалов, В

R – сопротивление участка, Ом



Фундаментальные методы выработки электричества:

1. Статическое электричество
2. Электромагнитная индукция
3. Электрохимия
4. Фотоэлектрический эффект
5. Термоэлектрический эффект
6. Пьезоэлектрический эффект
7. Преобразование энергии элементарных частиц и ядер

Общая схема выработки электрической энергии:

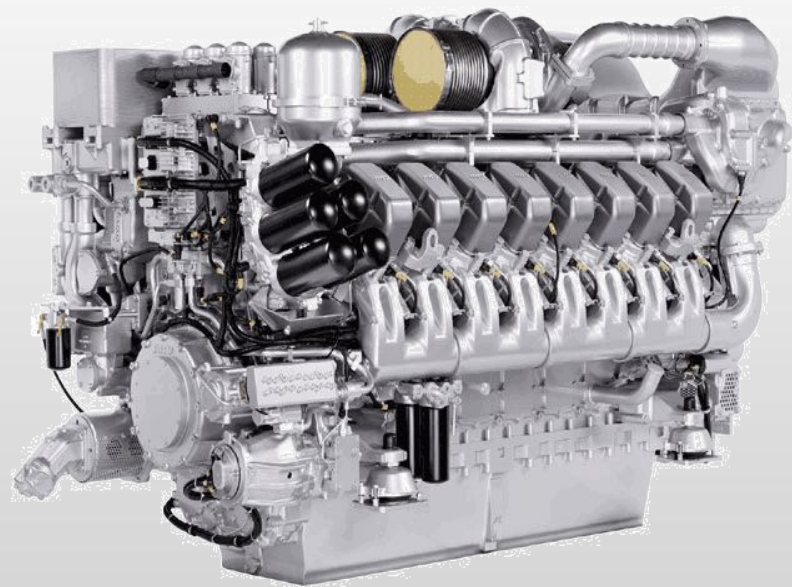
- Неэлектрическая энергия приводит во вращение **первичный двигатель**.
- Первичный двигатель вращает электромеханический **генератор**.
- Электрический генератор вырабатывает электроэнергию.
- Электроэнергия с помощью **трансформатора** преобразует в вид, удобный для её последующей передачи на дальние расстояния.
- Электроэнергия распространяется по **линиям электропередач**.
- Трансформатор преобразует электроэнергию в вид, удобный для потребления.
- Электроэнергия поступает к потребительским устройствам.

Первичный двигатель – устройство, получающее энергию от неэлектрического источника, и вращающего электрический генератор.

Виды первичных двигателей на электростанциях:

- **Паровые** – пар, получаемый из воды, нагреваемой с помощью:
 - ядерной реакции;
 - сжиганием ископаемого топлива (уголь, газ, бензин);
 - возобновляемые источники энергии:
 - биомасса;
 - солнечная энергия;
 - геотермальная энергия;
- **Возобновляемые источники энергии:**
 - **Водные;**
 - **Ветряные.**

Первичный двигатель на судах – **дизельный**.





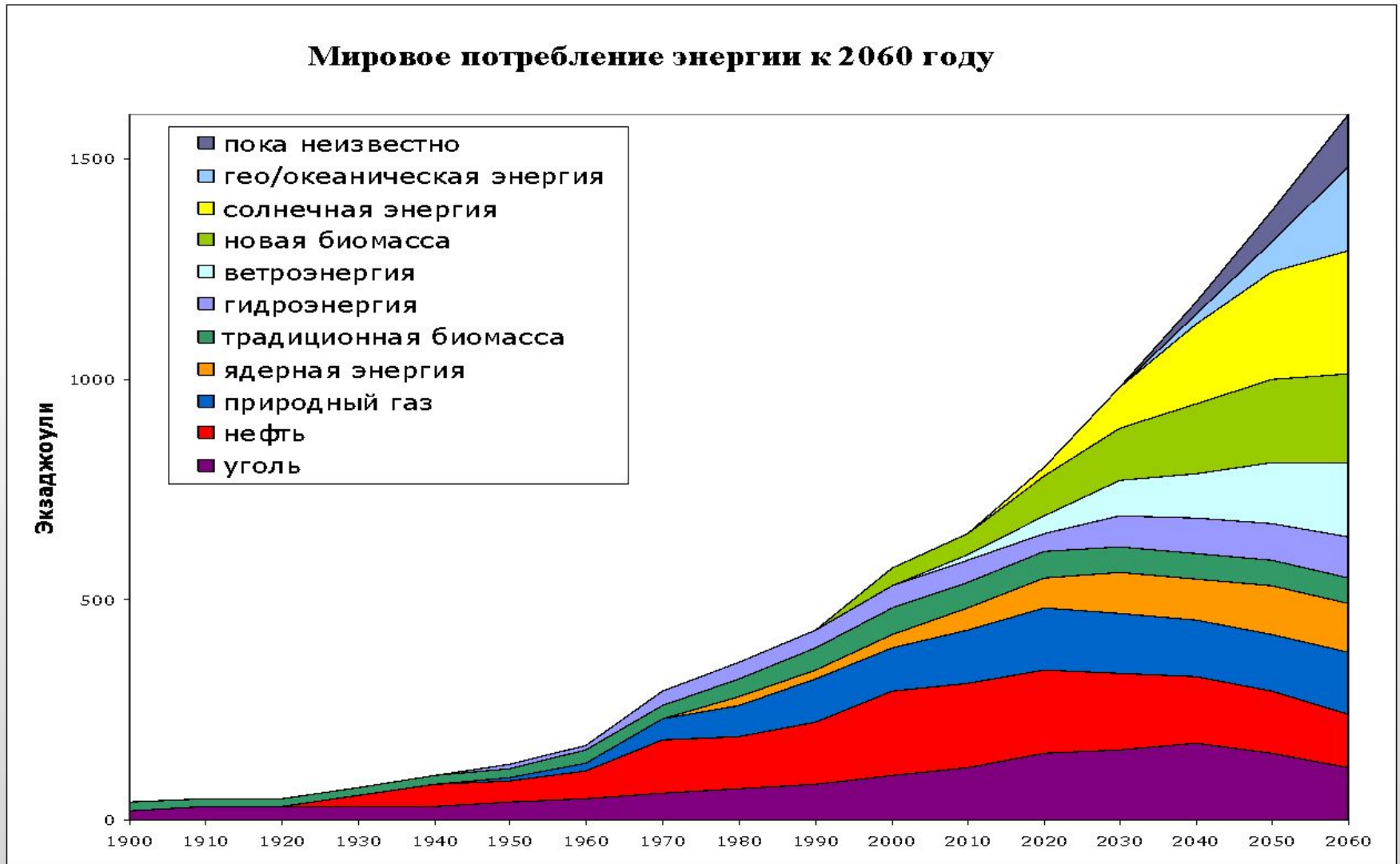




Система распространения электроэнергии состоит из:

- Высоковольтных линий электропередач
- Электрических подстанций
- Трансформаторов
- Низковольтной электрической проводки
- Электрических счетчиков





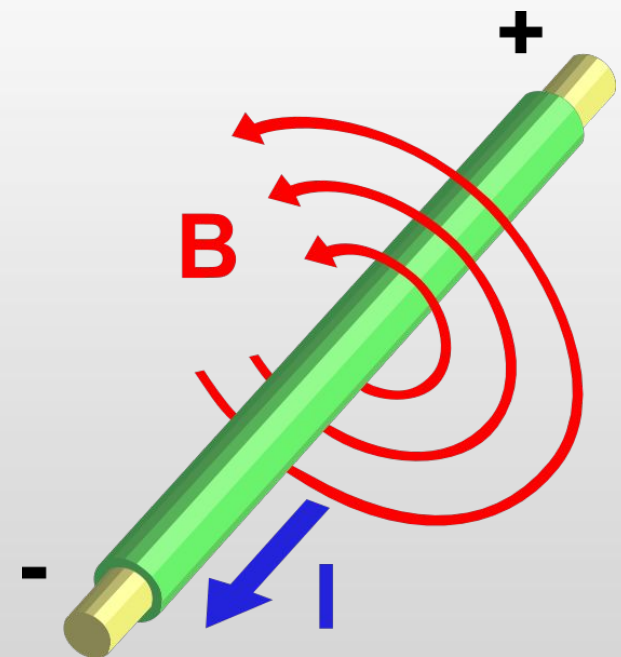
Трансформатор – это статическое электромагнитное устройство, преобразующее систему переменного тока одного напряжения в систему переменного тока другого напряжения при неизменной частоте.

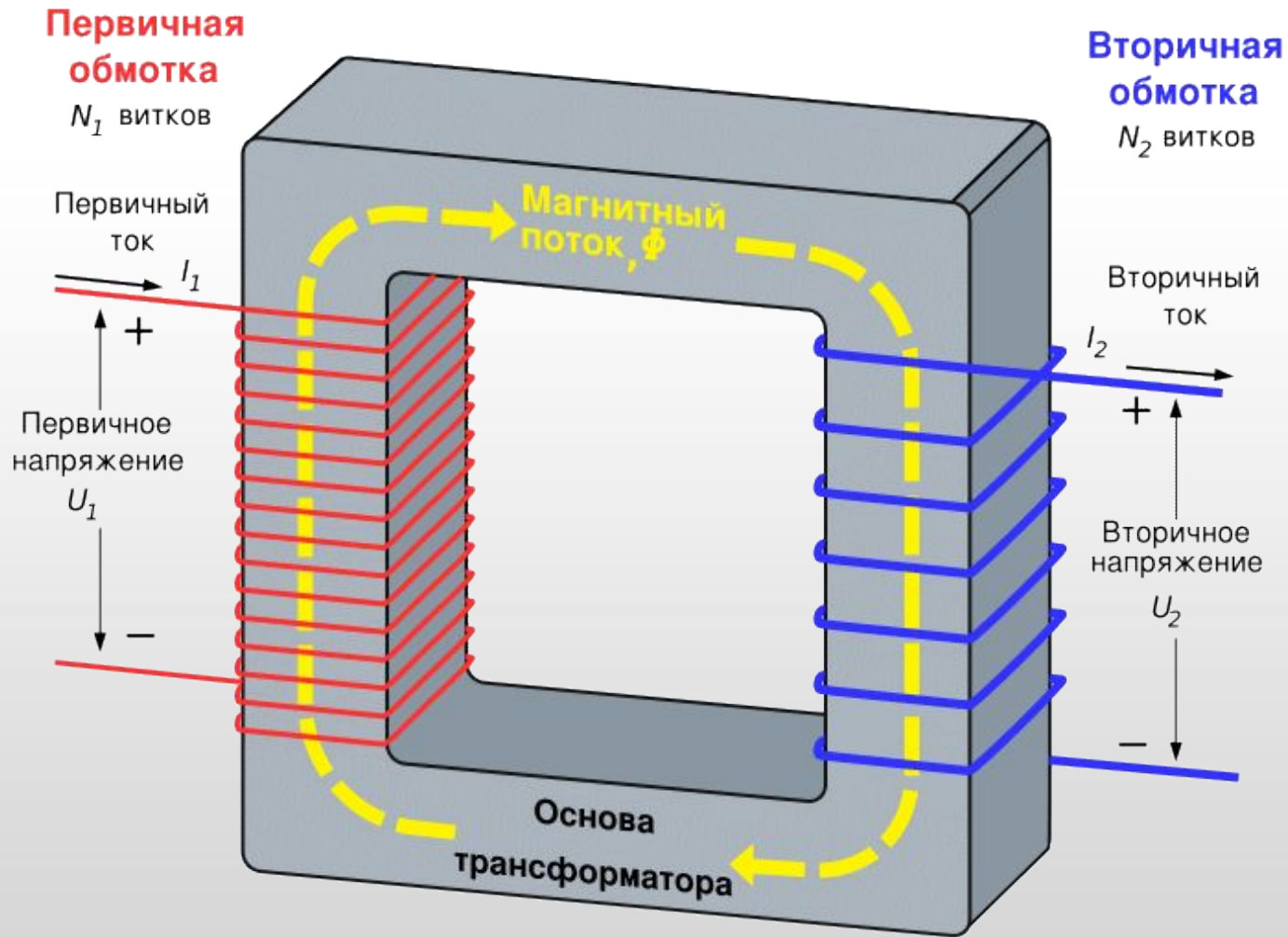
Трансформатор состоит из:

- Первичной и вторичной изолированных металлических обмоток;
- Магнитопровод (сердечник)

Работа трансформатора основана на двух основополагающих принципах:

- Закон Ампера
Если в проводнике протекает ток, то он создает вокруг проводника круговое магнитное поле
- Закон электромагнитной индукции Фарадея
Явление возникновения электродвижущей силы в проводнике под воздействием переменного электромагнитного поля



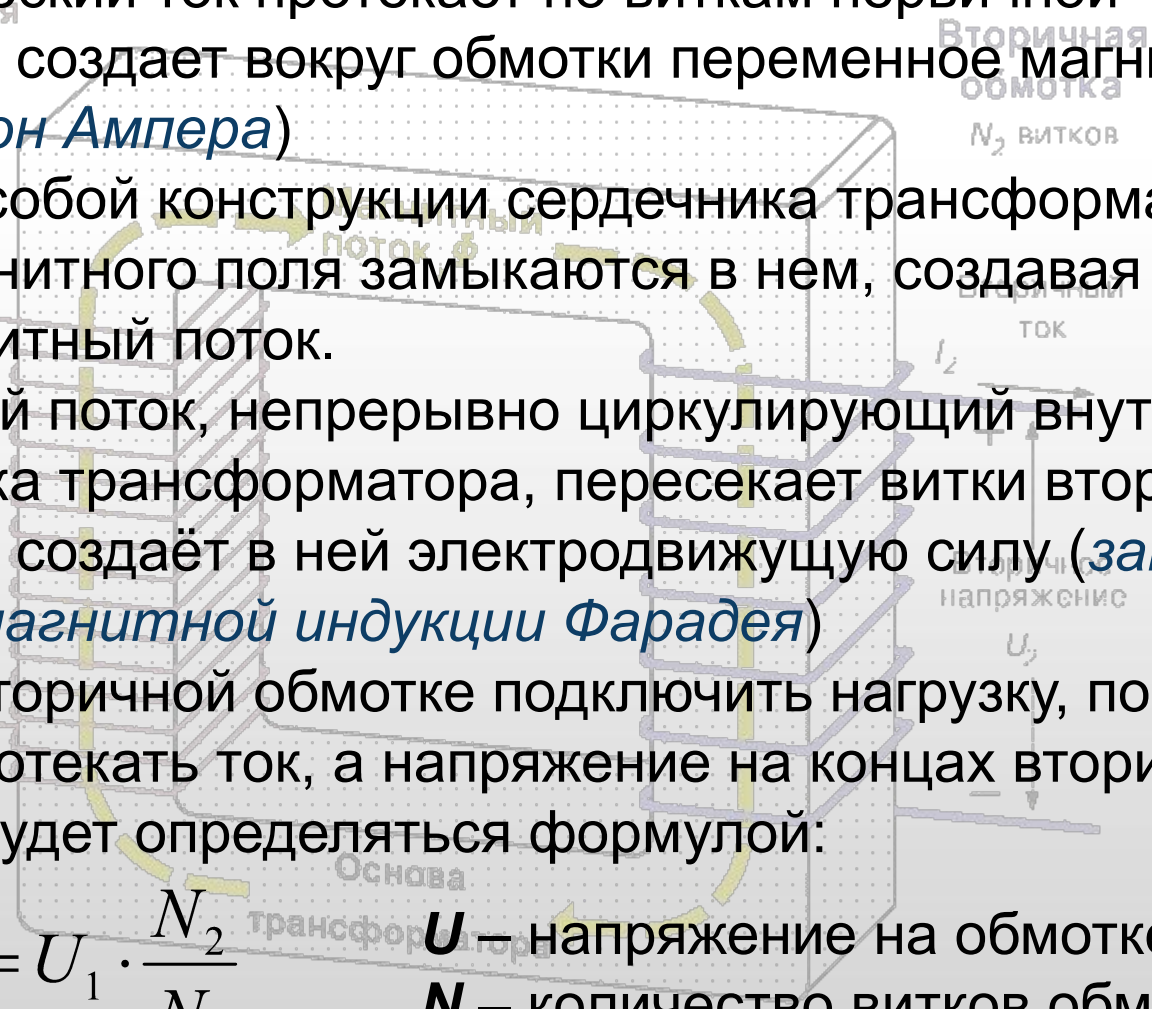


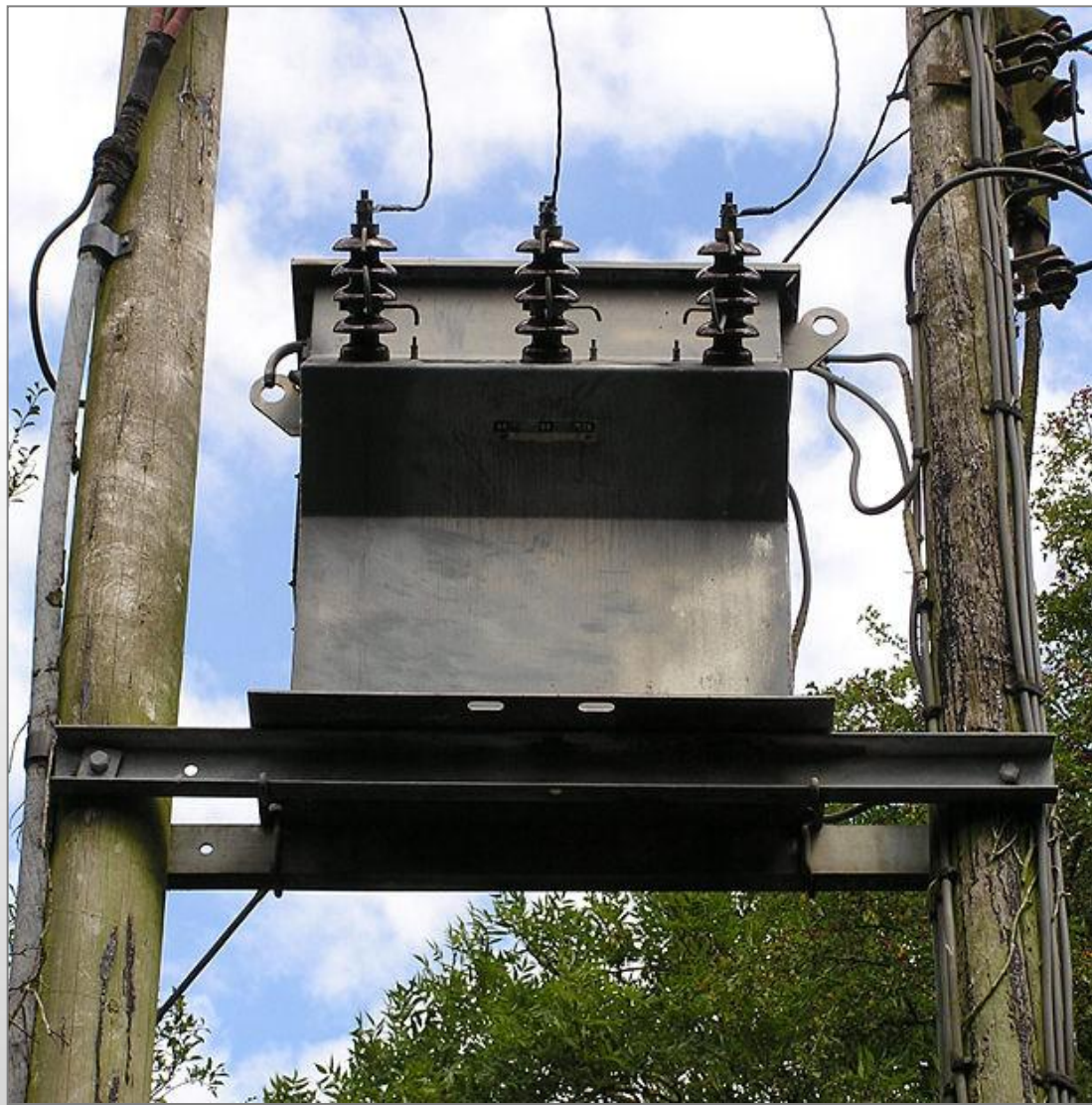
1. Электрический ток протекает по виткам первичной обмотки и создает вокруг обмотки переменное магнитное поле (*закон Ампера*)
2. За счет особой конструкции сердечника трансформатора, витки магнитного поля замыкаются в нем, создавая внутри него магнитный поток.
3. Магнитный поток, непрерывно циркулирующий внутри сердечника трансформатора, пересекает витки вторичной обмотки и создаёт в ней электродвижущую силу (*закон электромагнитной индукции Фарадея*)
4. Если ко вторичной обмотке подключить нагрузку, по ней начнет протекать ток, а напряжение на концах вторичной обмотки будет определяться формулой:

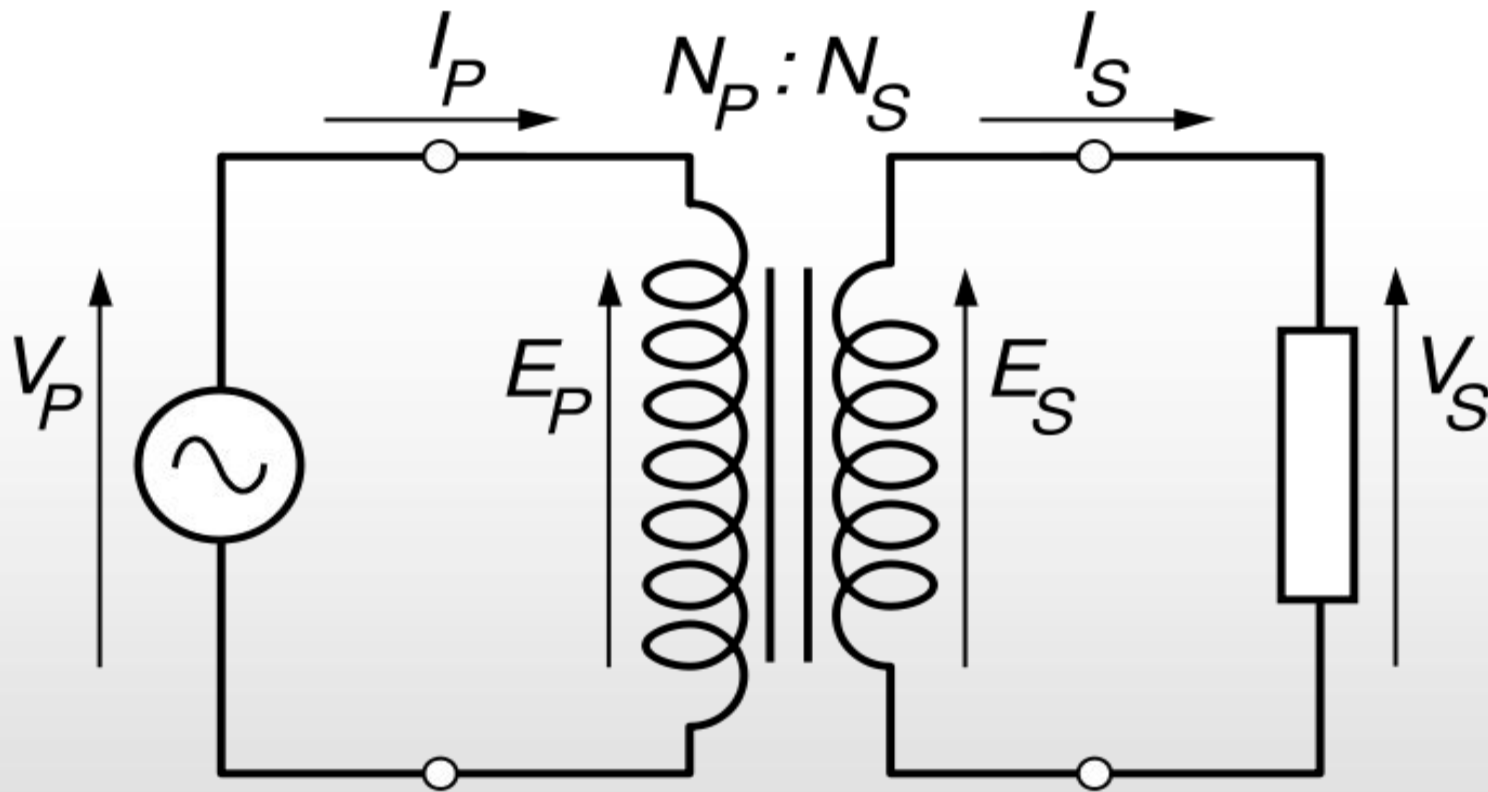
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

U – напряжение на обмотке;

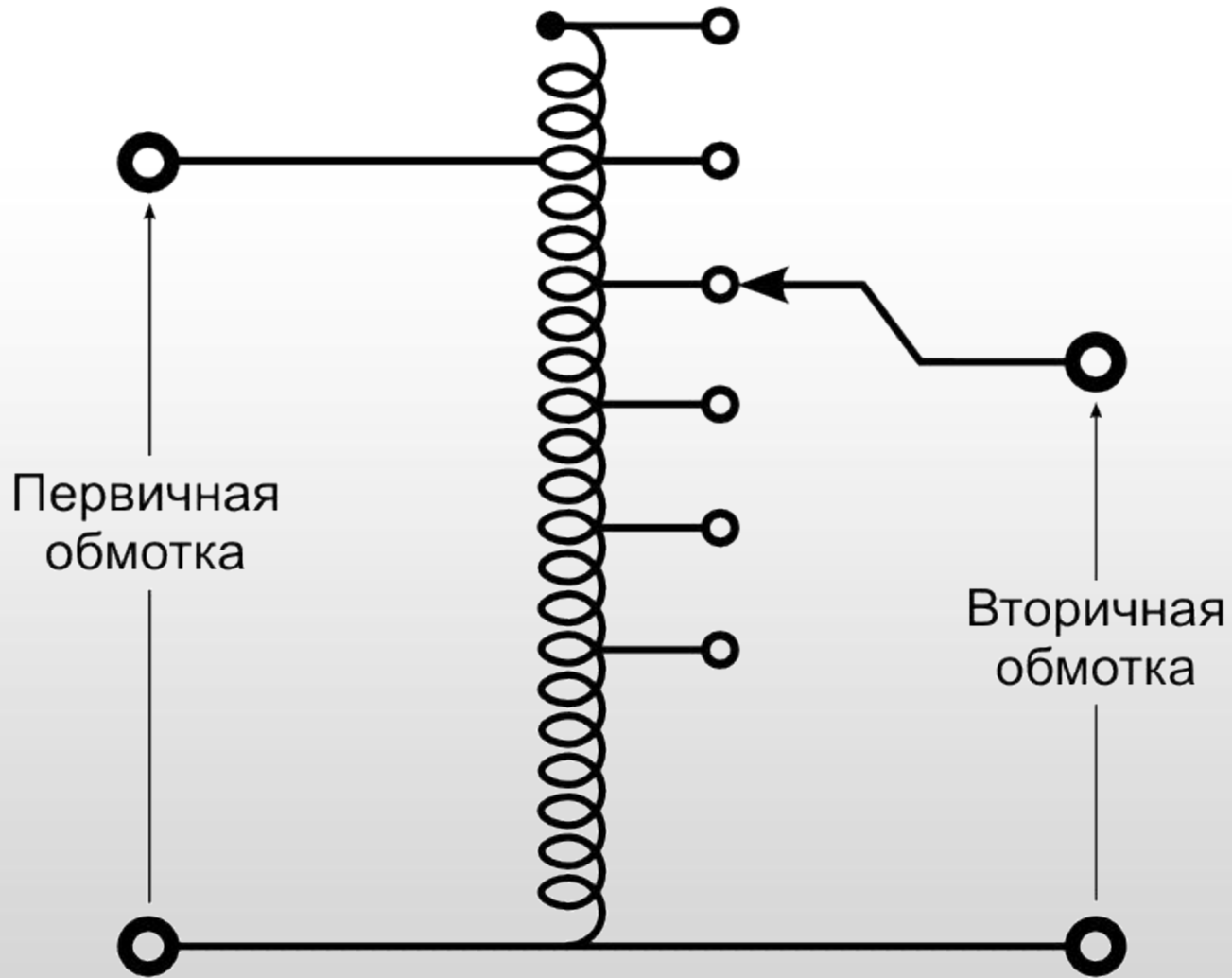
N – количество витков обмотки.





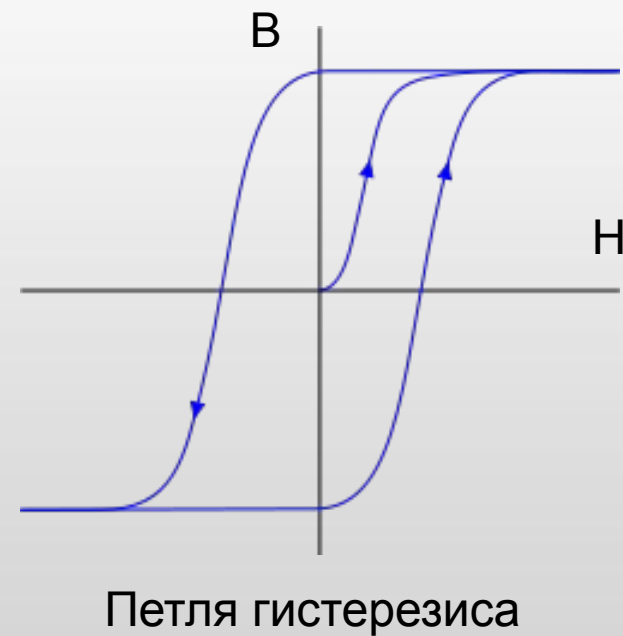
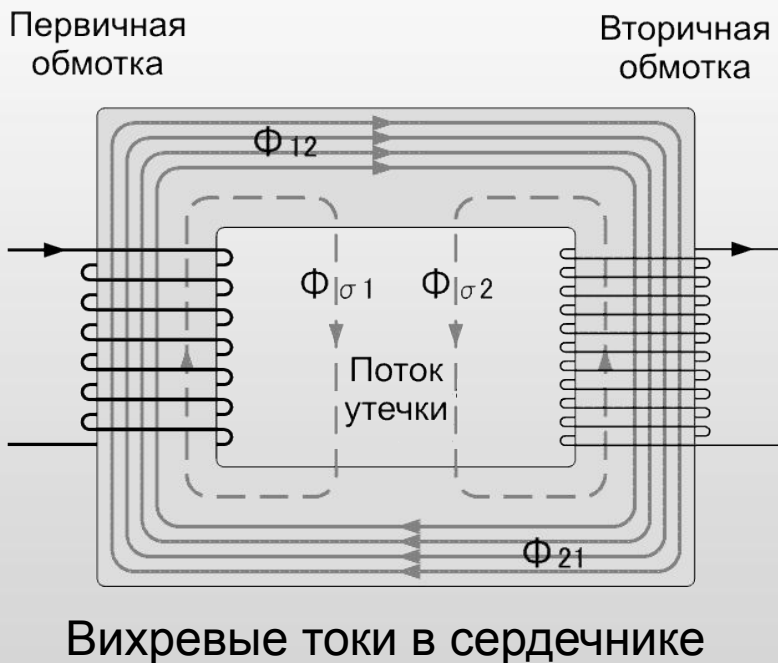


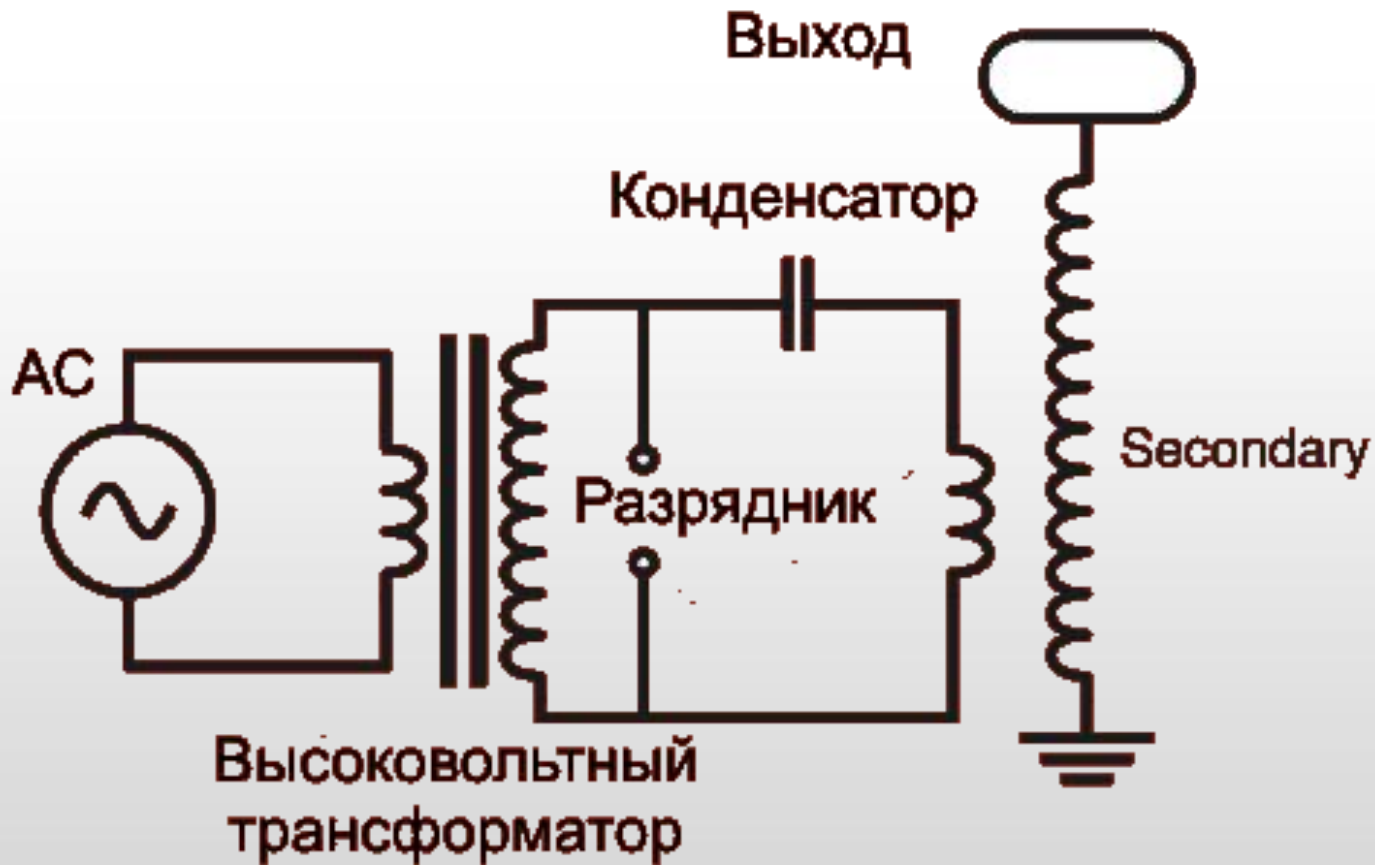
$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$



- **Силовые трансформаторы**
 - Преобразует напряжение в сетях переменного тока
- **Автотрансформатор**
 - Первичная и вторичная обмотка соединены электрически
- **Трансформатор тока**
 - Предназначен для измерения больших токов
- **Трансформатор напряжения**
 - Преобразует высокое напряжение в низкое
 - Разделяет между собой цепи измерительных приборов и силовые сети
- **Импульсный трансформатор**
 - Преобразует импульсные сигналы с минимальным искажением формы
- **Разделительный трансформатор**
 - Применяется для электрического разделения участков цепи
- **Пик-трансформатор**
 - Преобразует синусоидальное напряжение в импульсное напряжение с изменяющейся через каждые полпериода полярностью.

- **КПД:** 97-99%
- Потери энергии в трансформаторе:
 - Электрическое сопротивление обмоток
 - Потери в петле гистерезиса
 - Вихревые токи в сердечнике
 - Магнитострикция
 - Механические потери







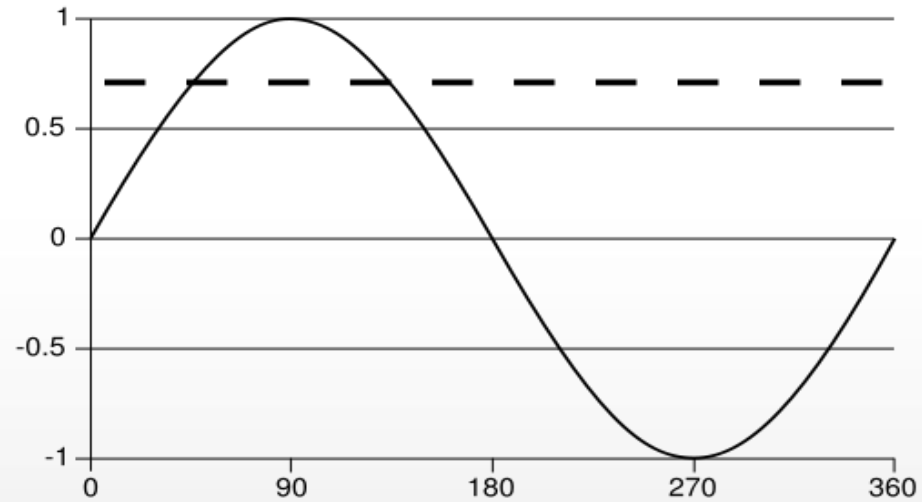


Постоянный ток:

$$I = const$$

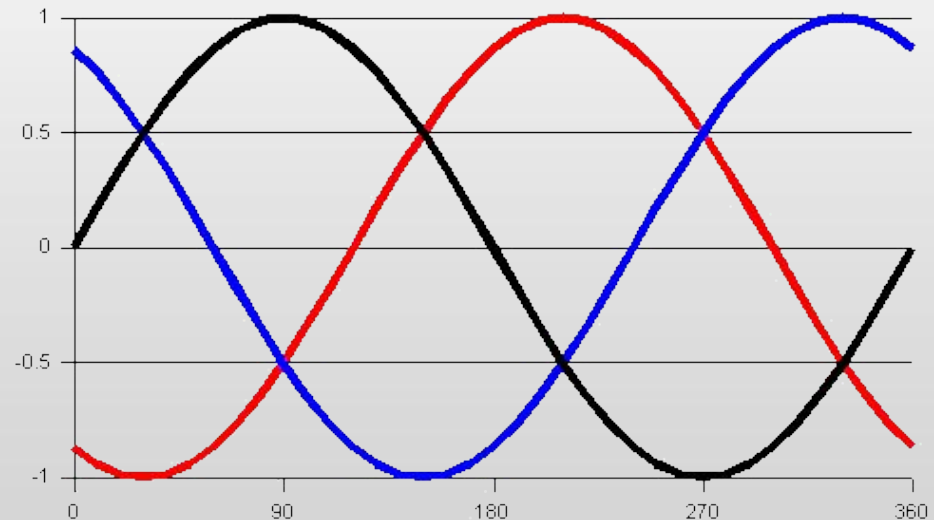
Переменный ток:

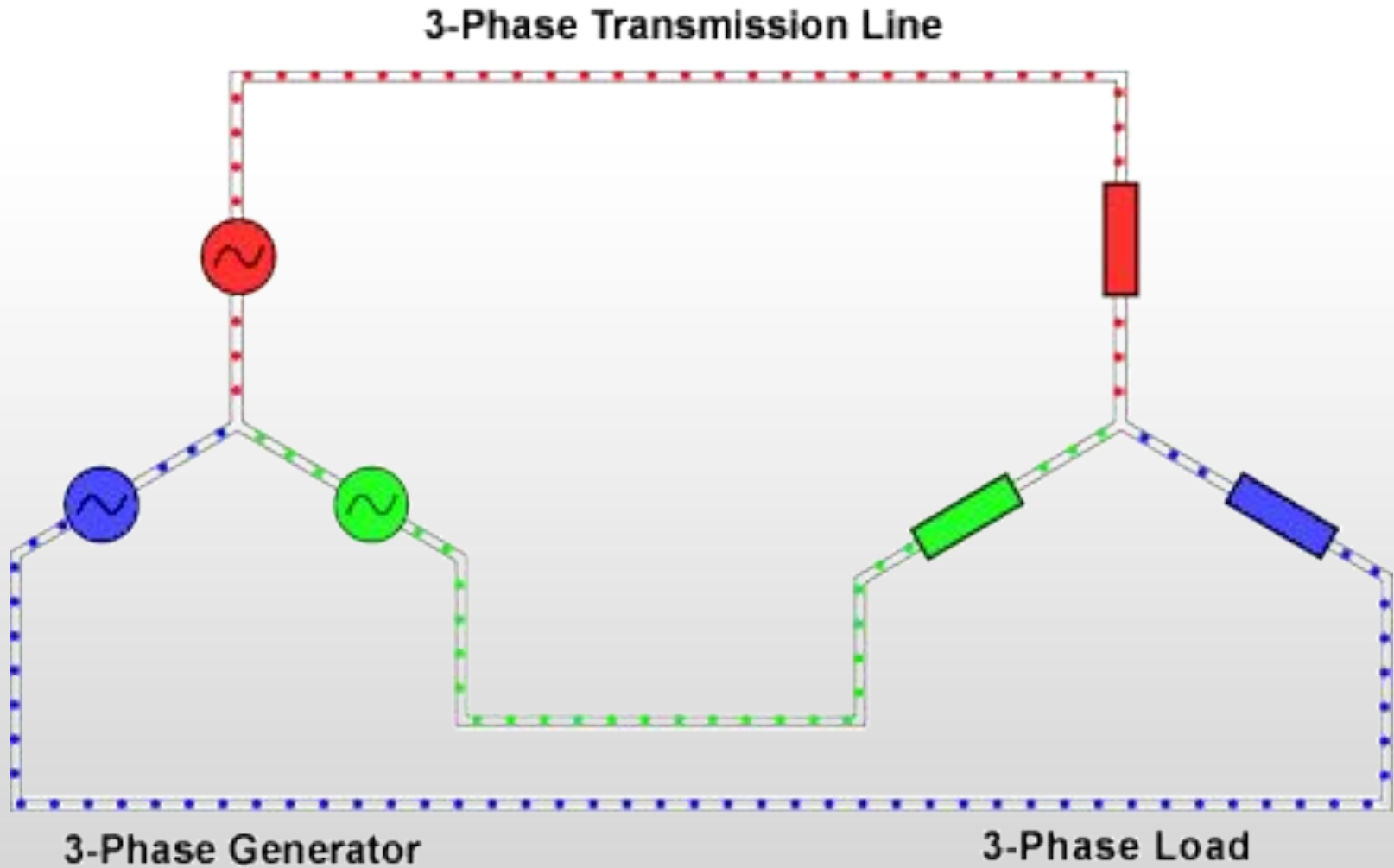
$$I = I_m \cdot \sin(t)$$



Трёхфазный переменный ток:

$$\left[\begin{array}{l} I = I_m \cdot \sin(t) \\ I = I_m \cdot \sin(t - \frac{2}{3} \cdot \pi) \\ I = I_m \cdot \sin(t - \frac{4}{3} \cdot \pi) \end{array} \right.$$







Электрический генератор – это устройство, преобразующее механическую энергию в электрическую за счет принципа электромагнитной индукции. Обратное преобразование энергии – из электрической в механическую – осуществляется **электрическим двигателем**.

Основные механические детали конструкции:

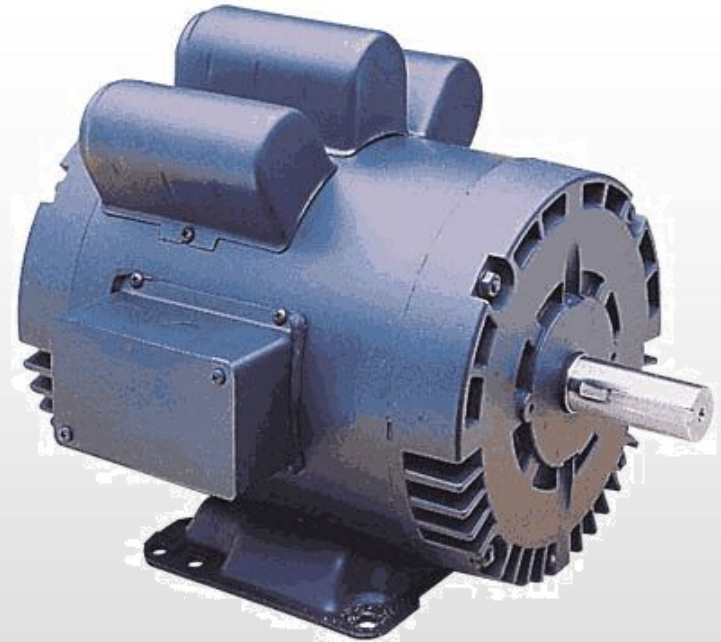
- Статор (неподвижная часть)
- Ротор (подвижная часть)

Основные электрические составляющие:

- Электрические обмотки
- Вращающееся магнитное поле

Принцип обратимости электрических машин:

Любая электрическая машина может вырабатывать электроэнергию, если вращать ее ротор (**генераторный режим**); а также может вращать подсоединенные механизмы, если на нее подать электрическую энергию (**двигательный режим**).



Принцип действия **синхронного генератора**:

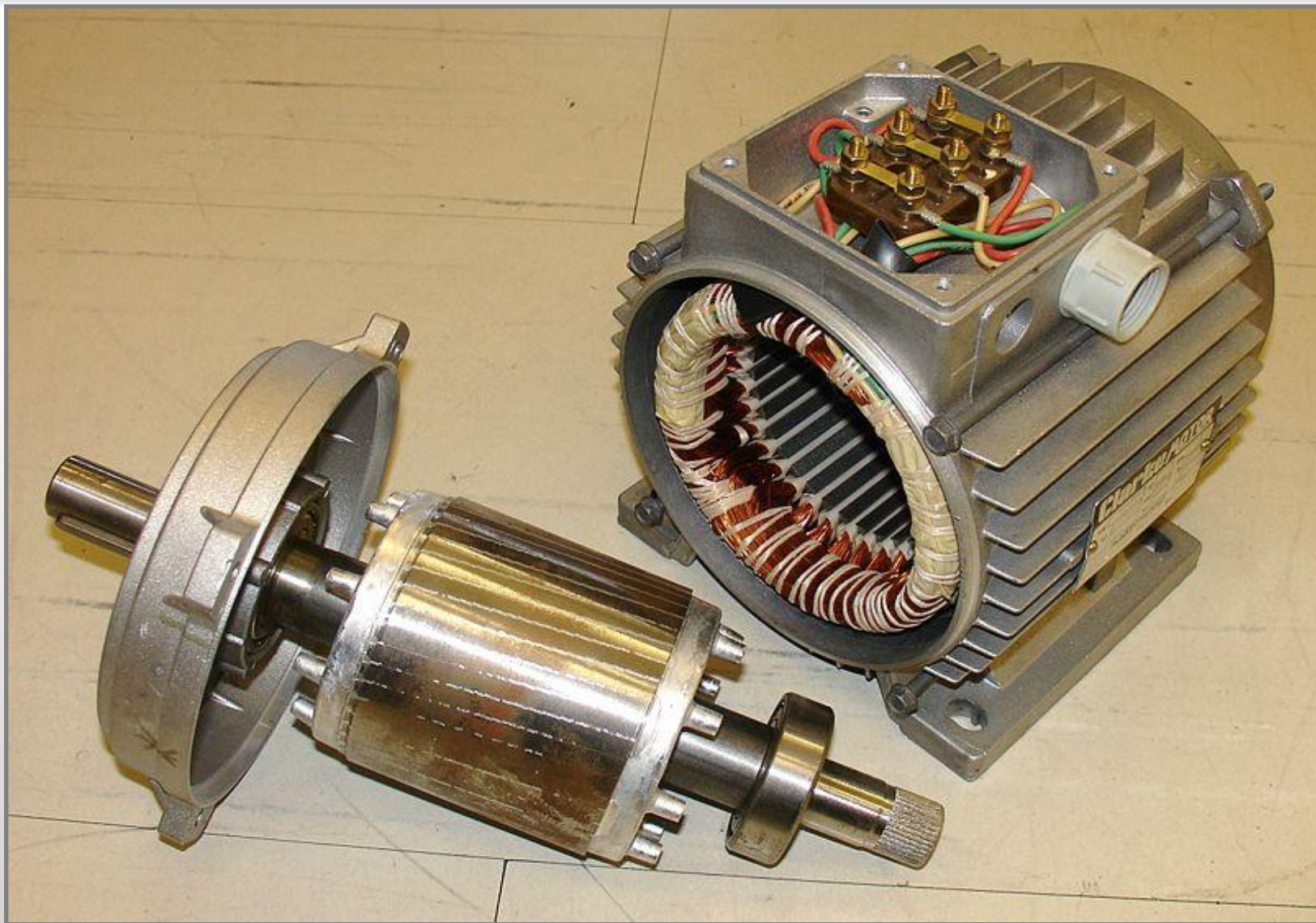
1. Первичный двигатель вращает ротор генератора.
2. Вращающийся ротор создает вращающееся магнитное поле.
3. В соответствии с принципом электромагнитной индукции, в обмотке статора наводится электродвижущая сила (ЭДС).
4. Под действием ЭДС в обмотке статора начинает протекать трёхфазный электрический ток.

Принцип действия **асинхронного двигателя**:

1. При подаче электроэнергии на обмотку статора, в ней создается вращающееся магнитное поле.
2. Вращающееся магнитное поле сцепляется с обмотками ротора и наводит в них ЭДС.
3. Под действием ЭДС, в роторе начинает протекать ток.
4. Взаимодействие этого тока с полем статора создает на роторе электромагнитные силы, стремящиеся повернуть ротор.

Скольжение – величина, показывающая как различаются скорости вращения магнитных полей статора и ротора

$$s = 1 - \frac{n_2}{n_1}$$





Мощность на валу асинхронного двигателя:

$$P_2 = P_1 - \Sigma P$$

где P_2 – мощность на валу двигателя;

P_1 – потребляемая мощность;

ΣP – потери мощности внутри двигателя.

Потери мощности состоят из:

1. Магнитные потери
 - Потери в петле гистерезиса
 - Потери на вихревых токах
2. Электрические потери
 - Нагрев обмоток статора и ротора
3. Механические потери
 - Потери на трение в подшипниковых узлах
 - Вентиляция
4. Добавочные потери

КПД электродвигателя: **70-95%**

1. Пуск непосредственным включением в сеть:

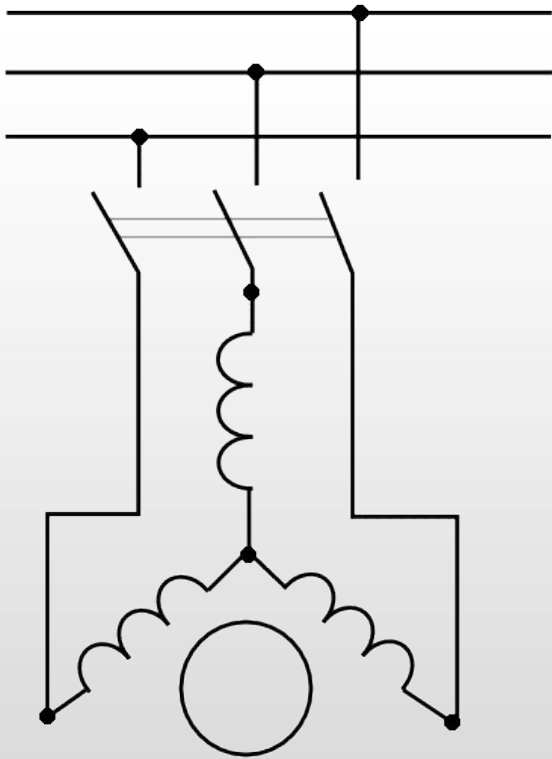
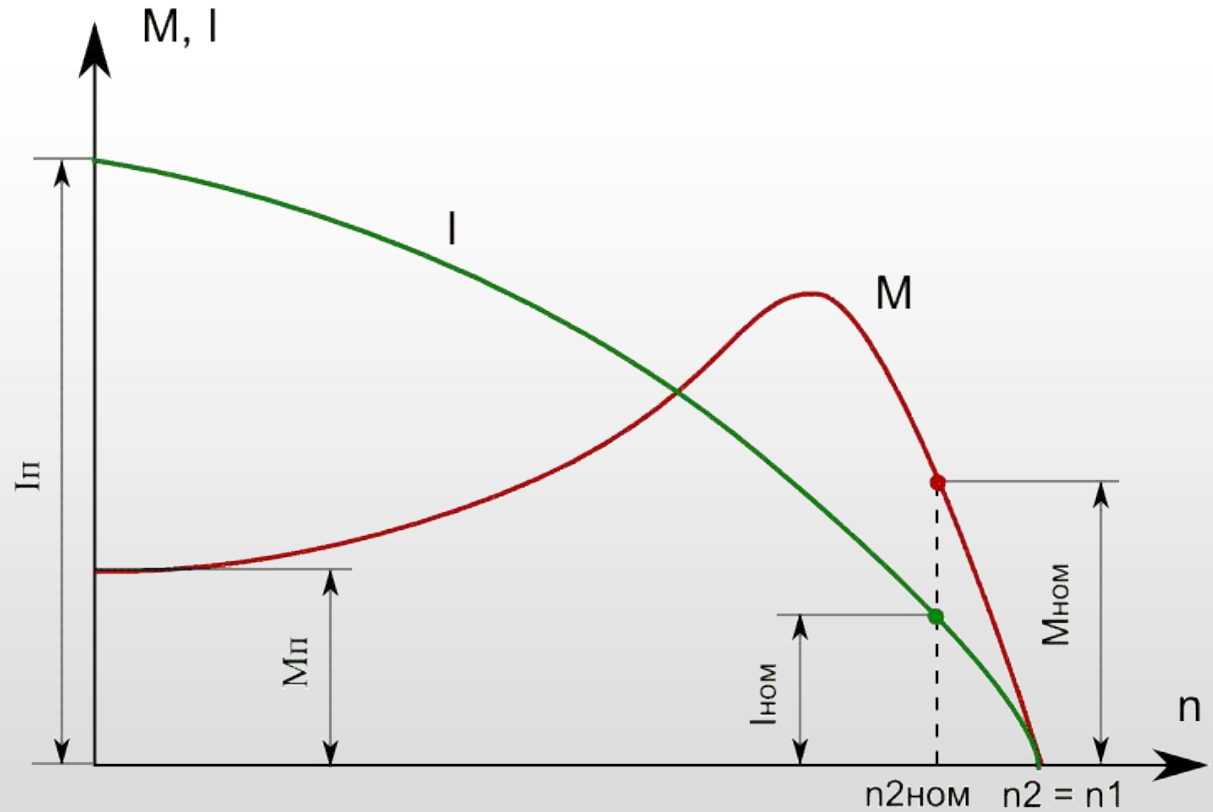


Схема включения АД



Графики изменения момента и тока при пуске

2. Пуск переключением обмотки статора $Y \rightarrow \Delta$

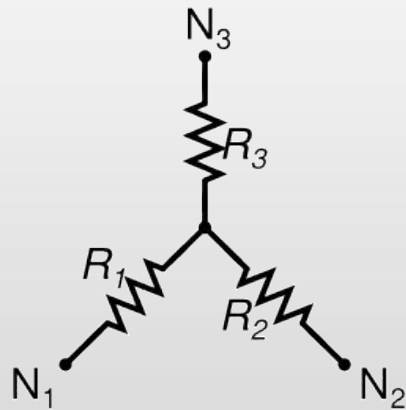
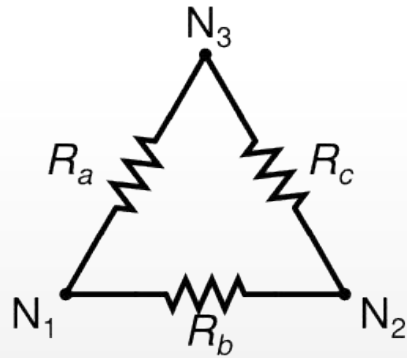
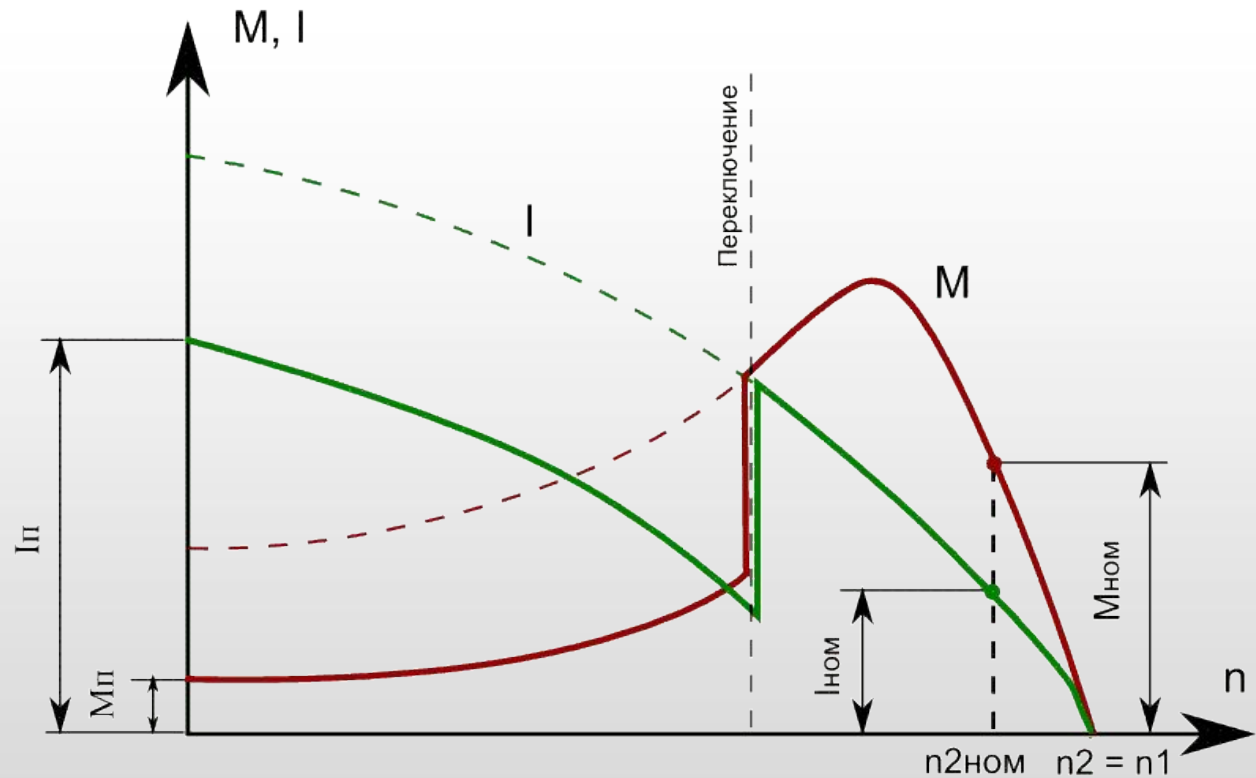
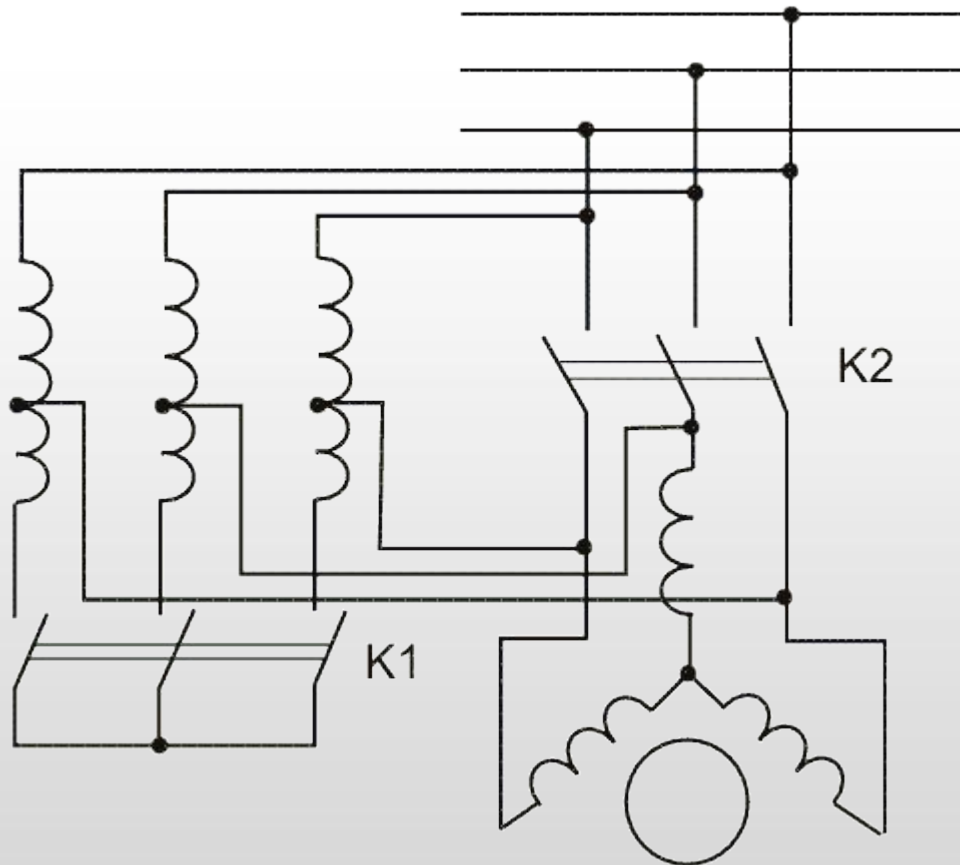


Схема переключения обмоток



Графики изменения момента и тока при пуске

3. Пуск двигателя через понижающий автотрансформатор



Частота вращения ротора АД:

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{f_1 \cdot 60}{p} \cdot (1 - s)$$

Основные методы регулирования частоты:

- Изменение подводимого напряжения.
 - Узкий диапазон регулирования частоты
 - Неэкономичность
- Нарушение симметрии подводимого напряжения.
 - Узкая зона регулирования
 - Уменьшение КПД двигателя
- Изменение активного сопротивления в цепи ротора
 - Рост электрических потерь
 - Снижение КПД двигателя
 - Повышенная чувствительность к колебаниям вала
- Изменением частоты тока в статоре
 - Значительная стоимость

Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Все схемы включения АД
4. Табличка с измерениями
5. Выводы

На защите

- Устройство АД
- Принцип действия АД
- Схемы пуска АД
- Методы регулирования частоты АД

Основные механические детали конструкции:

- Статор (*неподвижная часть*)
- Якорь (*подвижная часть*)
- Коллектор (*коммутатор*)

Основные преимущества машин постоянного тока:

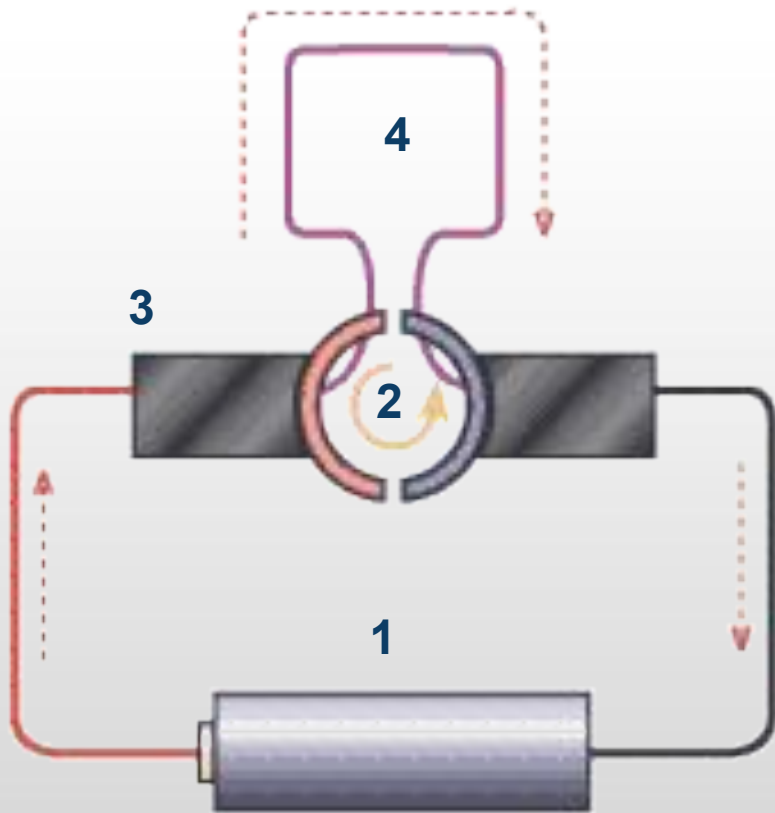
- ✓ Хорошие пусковые свойства
- ✓ Обеспечение плавного регулирования
- ✓ Возможность получения частоты вращения, более 3000 об/мин

Основные недостатки машин постоянного тока:

- Высокая стоимость
- Сложность изготовления
- Низкая надежность

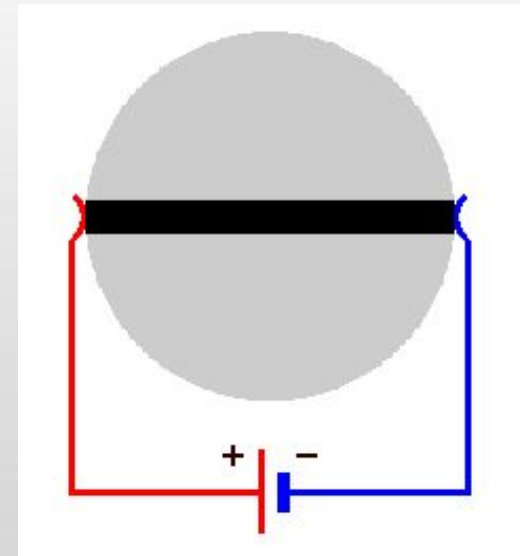
Все недостатки машин постоянного тока обусловлены наличием в них щеточно-коллекторного узла, который, к тому же, является источником радиопомех и пожарной опасности. Эти недостатки ограничивают применение машин постоянного тока.

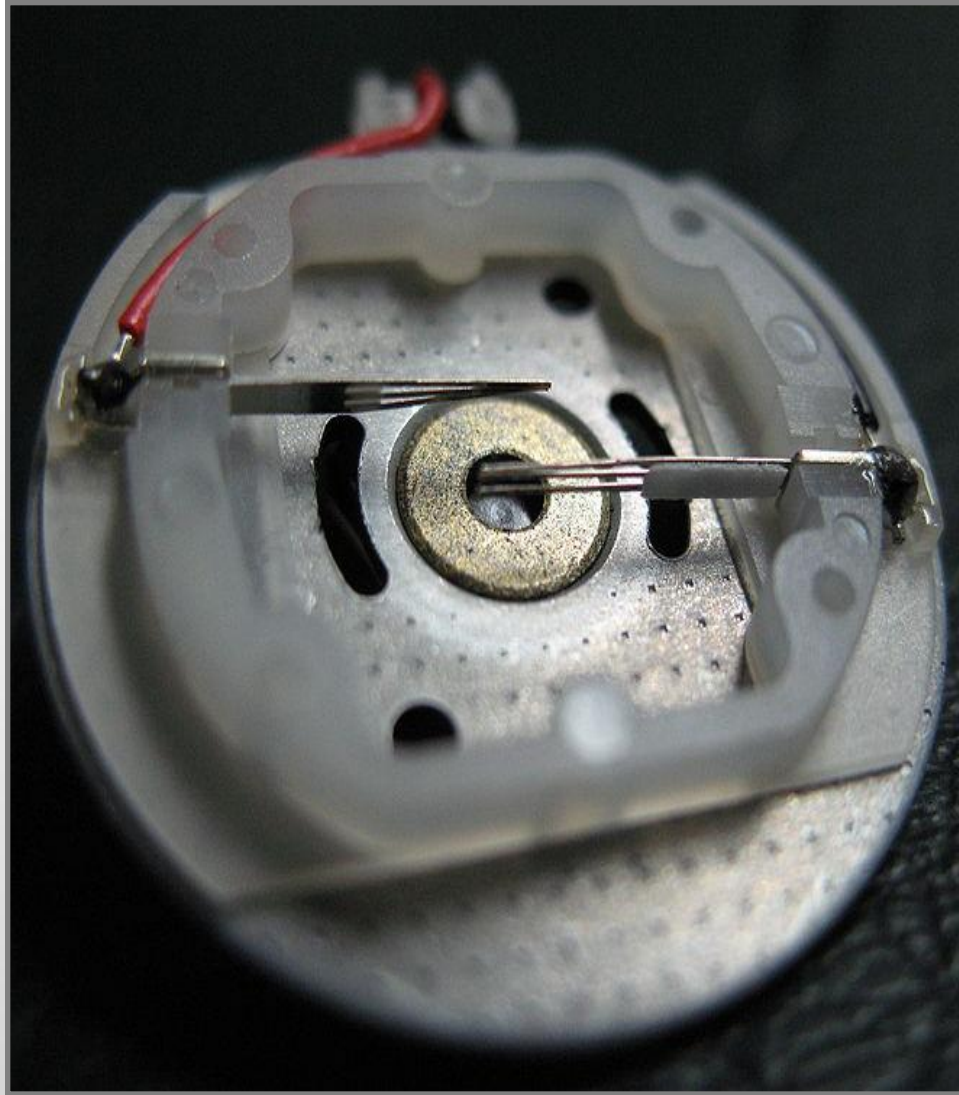
Коллектор (коммутатор) – представляет собой электрический переключатель, который периодически изменяет направление тока в машине постоянного тока.

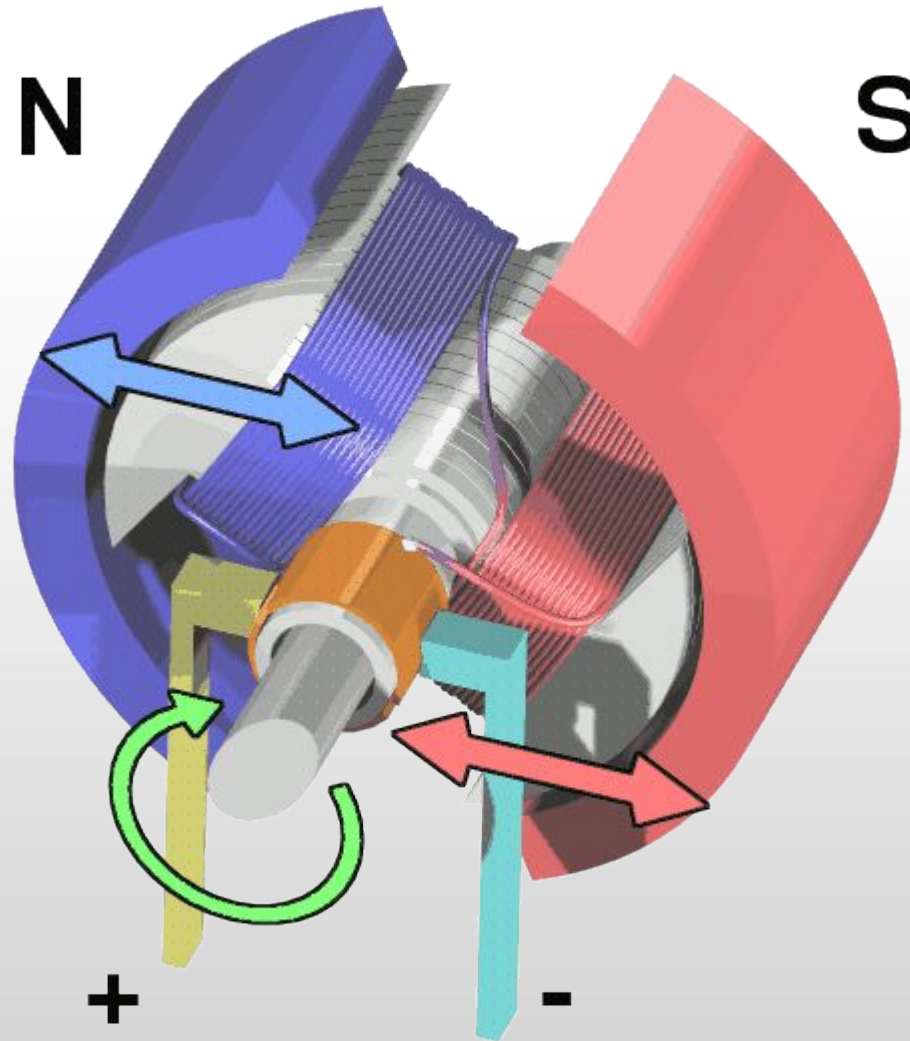


На схеме:

1. Источник постоянного тока
2. Коллектор
3. Контактные щетки
4. Якорь







Принцип действия **двигателя постоянного тока**:

1. При пропускании постоянного тока через якорь, полюсные катушки, расположенные на нем, приобретают положительный и отрицательный заряды.
2. Взаимодействие полюсных катушек якоря с постоянным магнитом, расположенным на статоре, создает крутящий момент, вращающий якорь.
3. Для того, чтобы якорь вращался постоянно, коллекторный узел переключает направление тока в якорь в момент, когда сила притяжения магнитов на статоре уравновешивается силой отталкивания.

Принцип действия **генератора постоянного тока**:

1. Первичный двигатель вращает якорь генератора.
2. Катушки якоря вращаются в поле, создаваемом постоянным магнитом на статоре, в результате чего во внешней цепи якоря появляется переменный ток.
3. Переменный ток преобразуется в пульсирующий посредством коллектора.
4. Пульсирующий ток преобразуется в постоянный за счет особенностей конструкции генератора.

Потери мощности состоят из:

1. Магнитные потери (только в якоре)
 - Потери в петле гистерезиса
 - Потери на вихревых токах
2. Электрические потери
 - Нагрев обмоток
 - Нагрев щеточного контакта
3. Механические потери
 - Потери на трение в подшипниковых узлах
 - Вентиляция
4. Добавочные потери

КПД электродвигателя:

75-90% - для машин, мощностью до 100 кВт;

90-97% - для машин, мощностью свыше 100 кВт.

Способы регулирования частоты вращения:

1. Введение дополнительного сопротивления в цепь якоря
 - Плавное регулирование
 - Неэкономичен
2. Изменение основного магнитного потока
 - Простота и экономичность
 - Изменение характеристик двигателя
 - Ограниченный диапазон регулирования
3. Изменение напряжения в цепи якоря
 - Плавное экономичное регулирование в широком диапазоне
 - Возможен безреостатный пуск
 - Регулирование частоты в сторону ниже номинальной
4. Импульсное регулирование
 - Аналогично регулированию путем изменения напряжения

Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Схема реостатного пуска двигателя
4. Табличка с измерениями
5. График изменения тока во время пуска двигателя
6. Выводы

На защите

- Устройство МПТ
- Принцип действия МПТ
- Схема пуска ДПТ
- Методы регулирования частоты ДПТ



- ✓ Фундаментальные способы выработки
- ✓ электричества
- ✓ Промышленное производство и
- ✓ транспортировка электроэнергии
- ✓ Трансформаторы
- ✓ Электрические машины переменного тока
 - ✓ Синхронный генератор
 - ✓ Асинхронный двигатель
- ✓ Электрические машины постоянного тока
 - ✓ Коллектор
 - ✓ Генератор постоянного тока
 - ✓ Двигатель постоянного тока