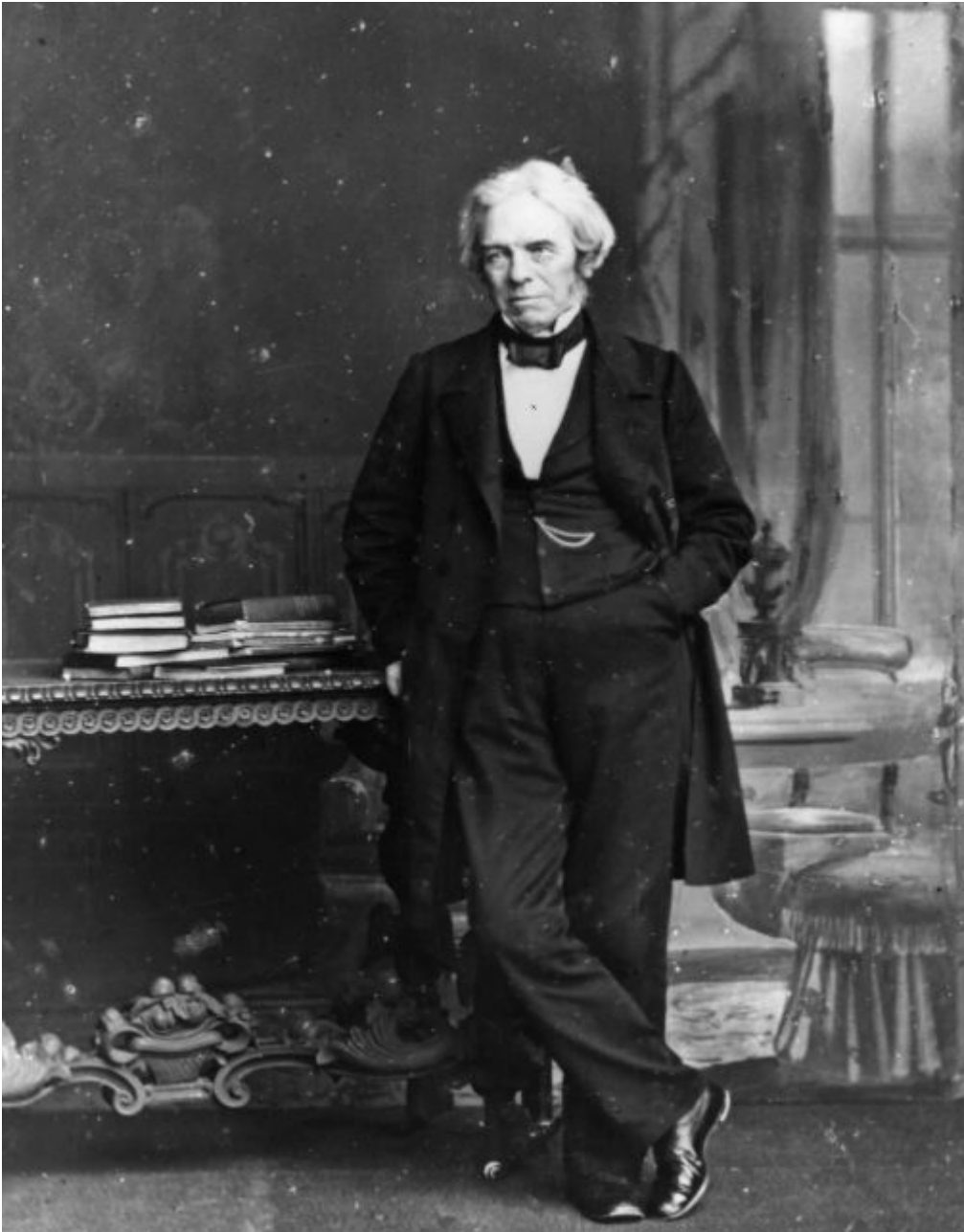


Электрические машины

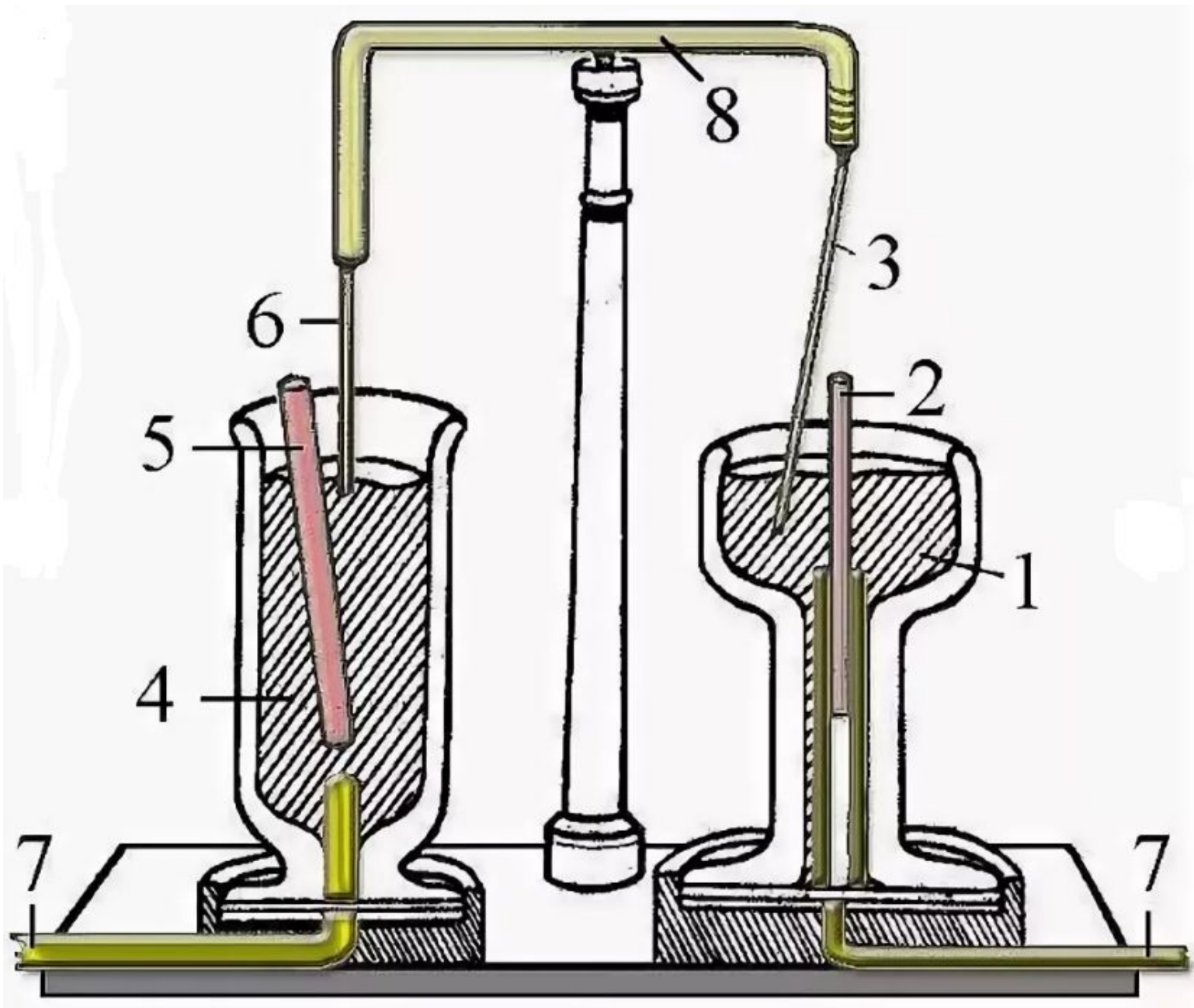


Майкл Фарадей

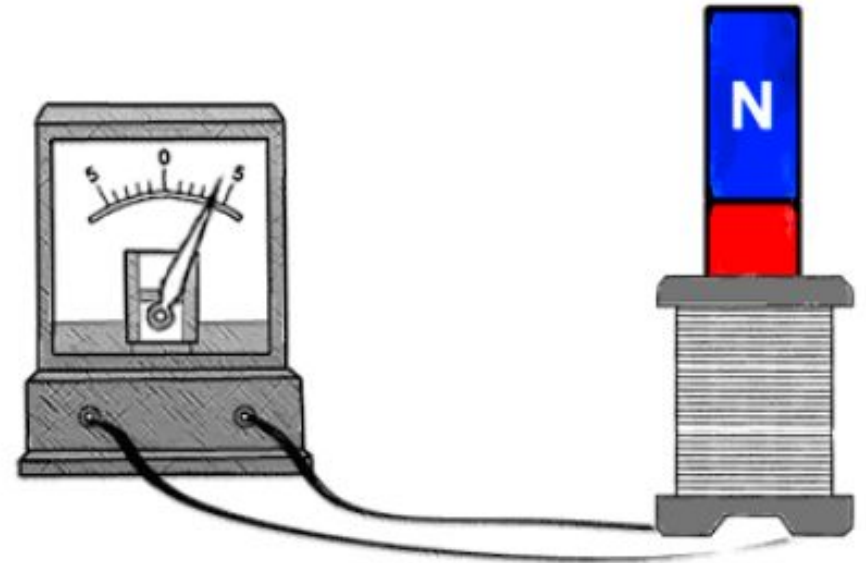
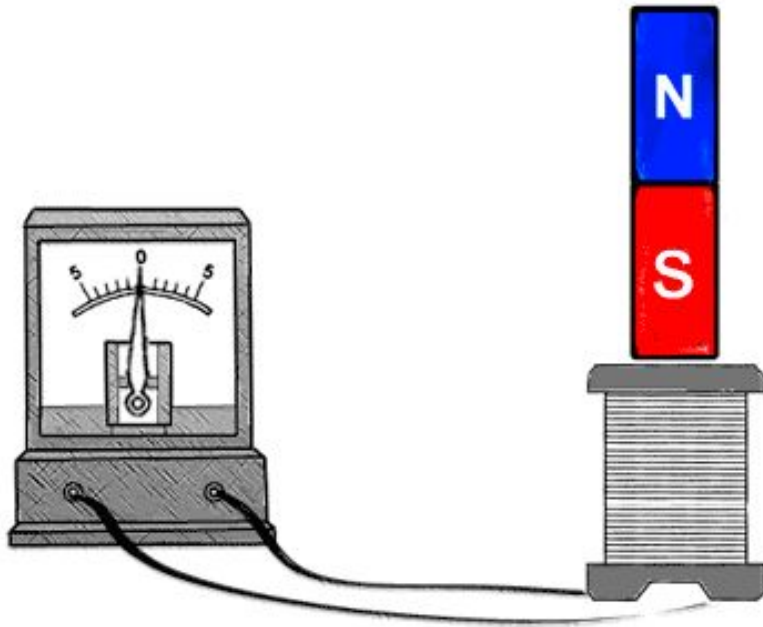
«Есть, однако, одно
счастливое
обстоятельство:
каковы бы ни были
наши мнения, им не
изменить и не
расстроить законов
природы»

A handwritten signature of Michael Faraday in cursive script, enclosed in a light gray rectangular box.

Опыт Фарадея с ртутью



Открытие закона электромагнитной индукции



Генератор мощностью 1750 МВт (Китай)



ГЭС «Три ущелья» (Китай, 2012г., 22500МВт)



АЭС Касивадзаки-Карива (Япония, 7965 МВт)



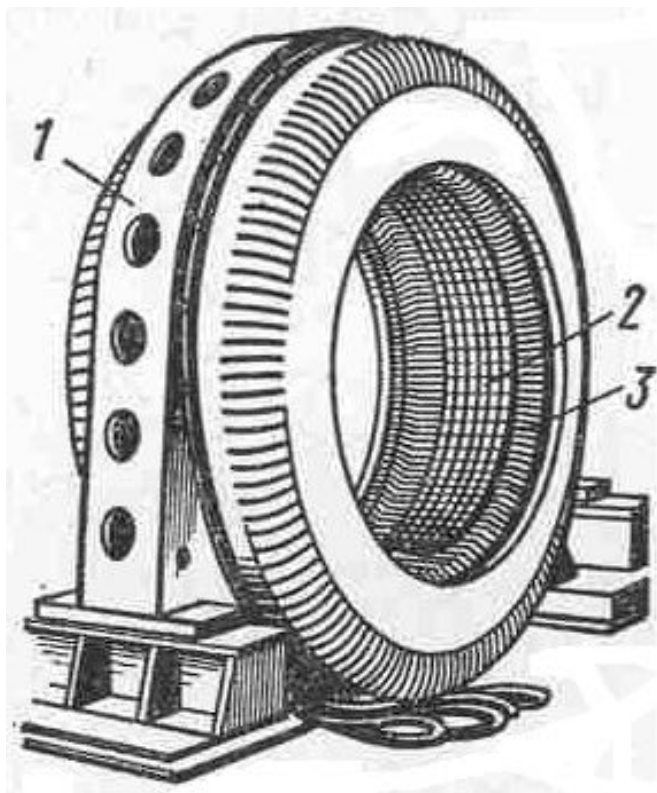
Ветряной генератор Enercon E-126 (Германия, 2007г., 7580 кВт)



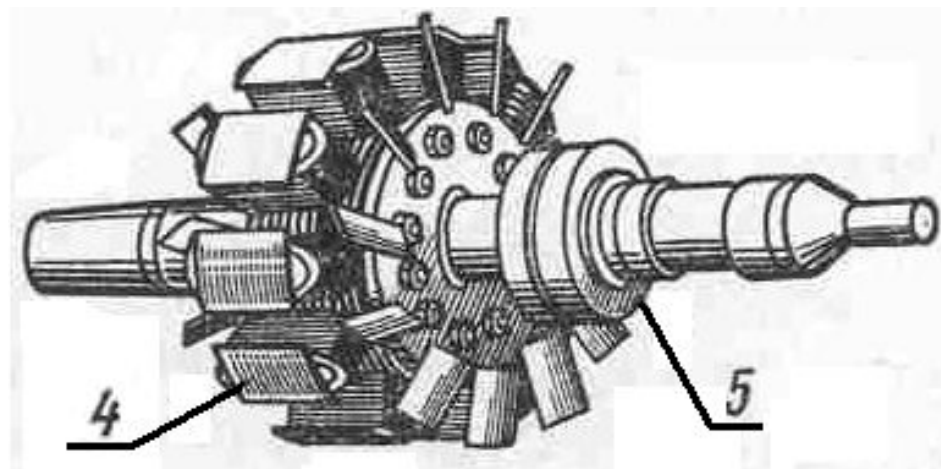


Солнечный парк "Великая солнечная стена" (Китай, 1,5ГВт)





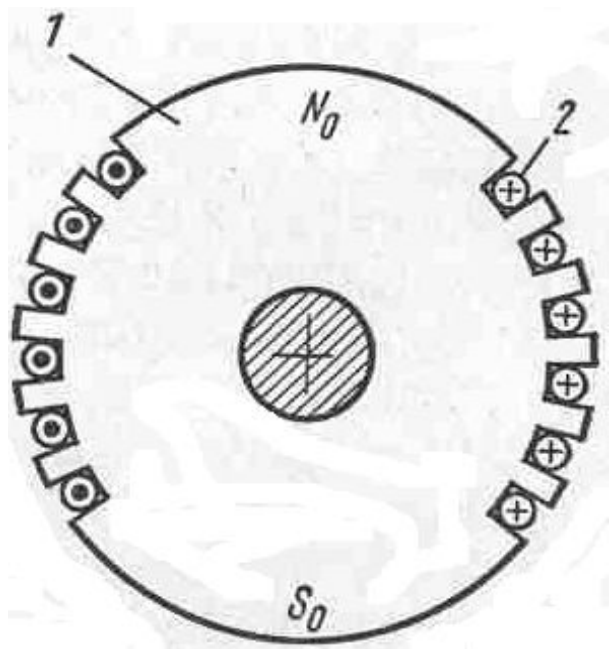
а)



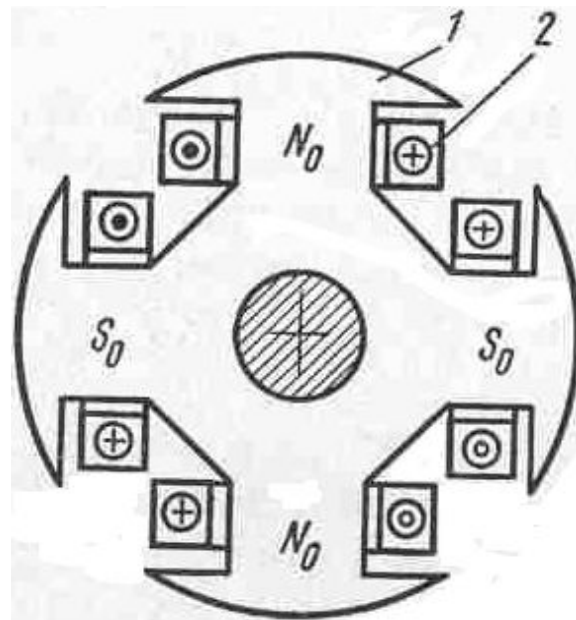
б)

Устройство синхронной машины: а – статор; б – ротор.

1 – станина; 2 – магнитопровод статора; 3 – обмотка статора; 4 – полюсы ротора; 5 – контактные кольца



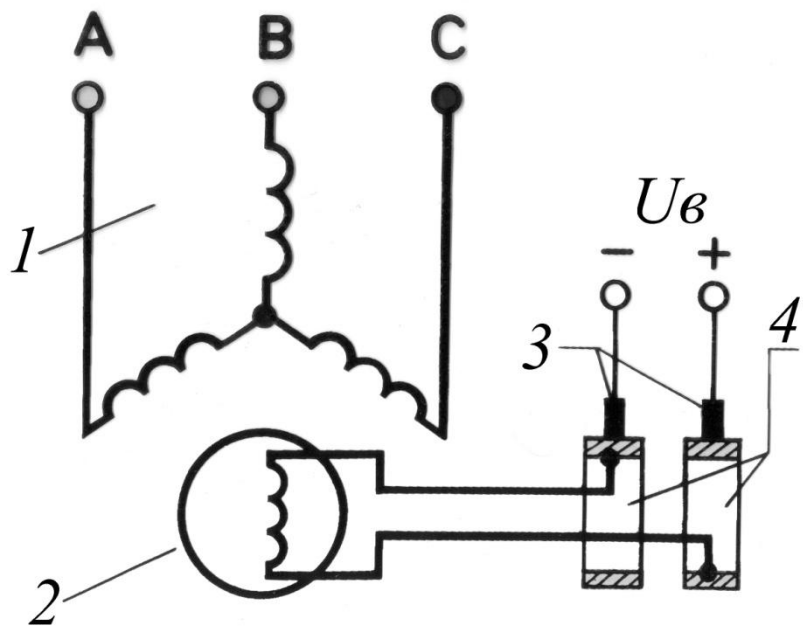
а)



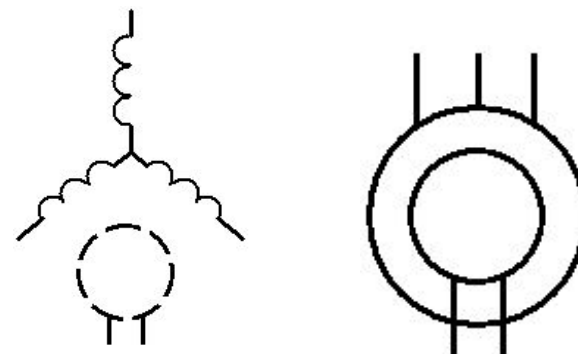
б)

Схема ротора: а– явнополюсного; б – неявнополюсного.

1 – магнитопровод; 2 – обмотка возбуждения



Электрическая схема синхронной машины:
 1 – статор трехфазной обмоткой; 2 – ротор с обмоткой возбуждения; 3 – щетки; 4 – контактные кольца



а)

б)

Обозначение синхронной машины:

а – полное;

б – упрощенное

Параллельная работа генератора с сетью

Для включения генератора на параллельную работу с сетью необходимо выполнение следующих условий:

- 1) действующие значения напряжений синхронной машины $U_{см}$ и сети $U_{сети}$ должны быть равны $U_{см} = U_{сети}$;
- 2) эти напряжения должны совпадать по фазе, т.е.

$$\underline{U}_{см} - \underline{U}_{сети} = 0$$

в соответствующих фазах.

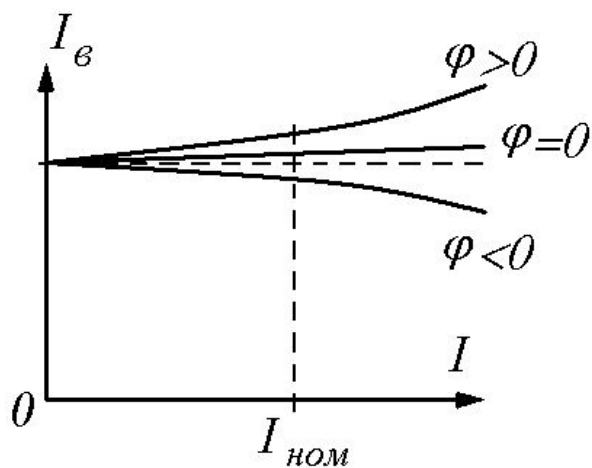
- 3) частоты напряжений синхронной машины $f_{см}$ и сети $f_{сети}$ должны быть равны $f_{см} = f_{сети}$;
- 4) чередование фаз синхронной машины и сети должны быть одинаковыми.

Основные уравнения и характеристики генератора

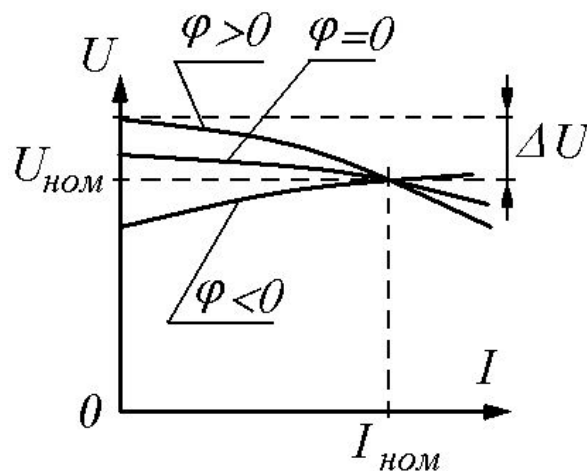
Упрощенное уравнение электрического состояния
фазы генератора

$$\vec{U}_\phi = \vec{E}_0 - jX_c \vec{I}_\phi$$

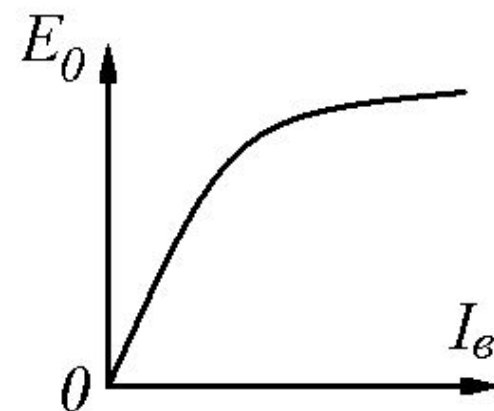
Основные характеристики синхронного генератора



характеристика
холостого хода



внешняя
характеристика



регулировочная
характеристика

Работа синхронной машины в режиме двигателя

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

Способы пуска синхронного двигателя:

1) за счет дополнительной пусковой короткозамкнутой обмотки, уложенной в наконечники полюсов ротора. Благодаря этой обмотке ротор разгоняется как ротор асинхронного двигателя до частоты вращения, близкой к частоте вращения магнитного поля. Тогда включают обмотку возбуждения и ротор втягивается магнитным полем в синхронное вращение.

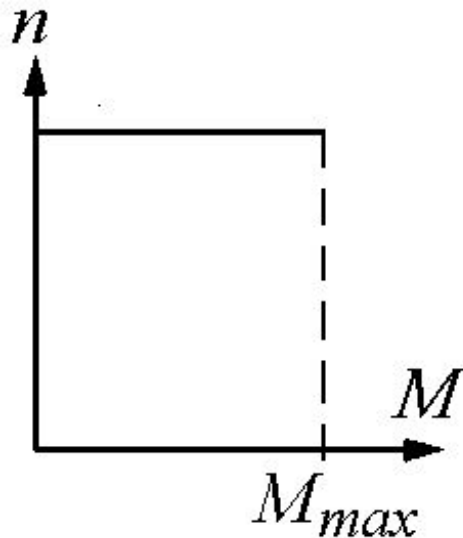
2) пуск синхронного двигателя с помощью разгонного двигателя. Синхронный двигатель разгоняют до синхронной скорости, затем после проверки синхронизации с сетью разгонный двигатель отключают.

Основные уравнения и характеристики двигателя

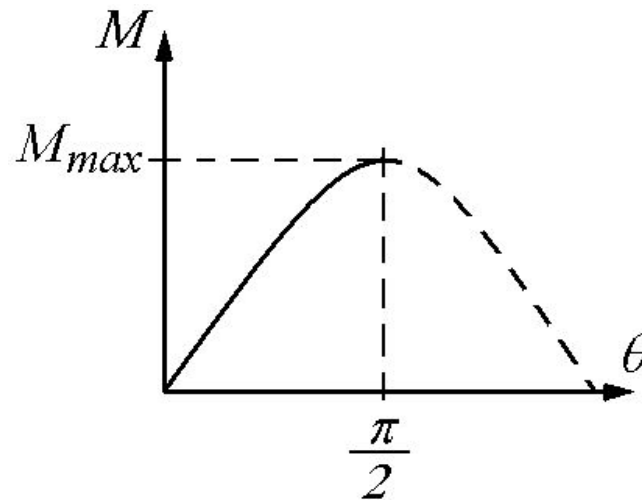
Уравнение электрического состояния фазы статора двигателя

$$\vec{U}_\phi = \vec{E}_0 + jX_c \vec{I}_\phi$$

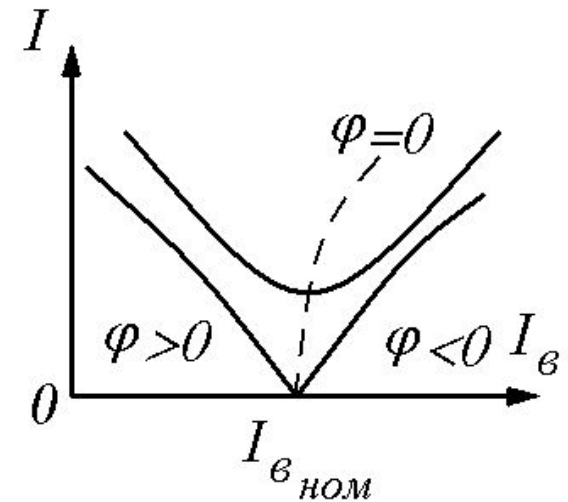
Основные характеристики синхронного двигателя



механическая



угловая



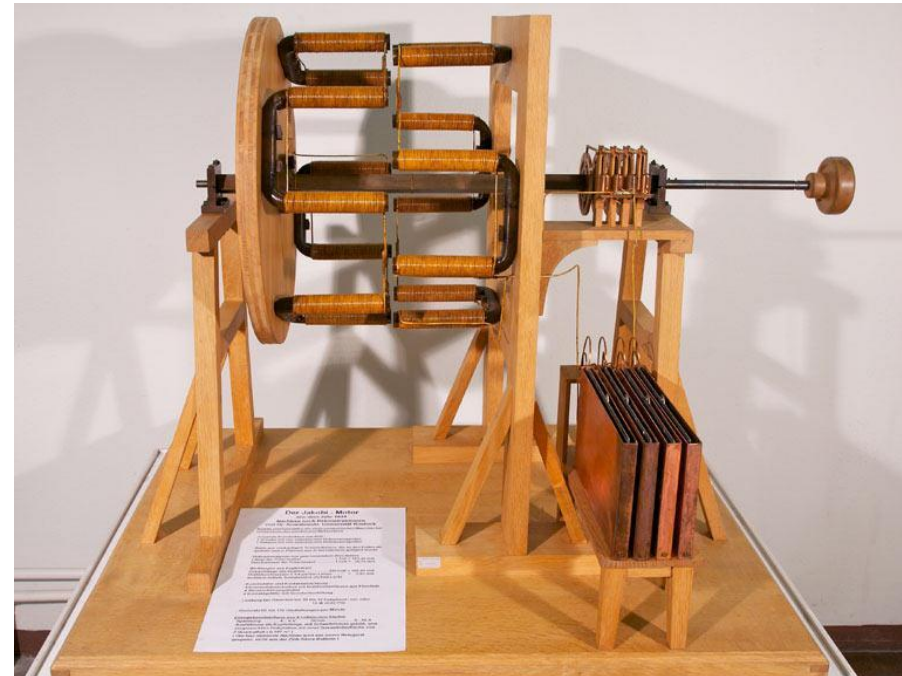
U-образные



Борис Семенович Якоби

Открытия и изобретения:

- гальванопластика
- электродвигатель
- телеграфный аппарат, печатающий буквы

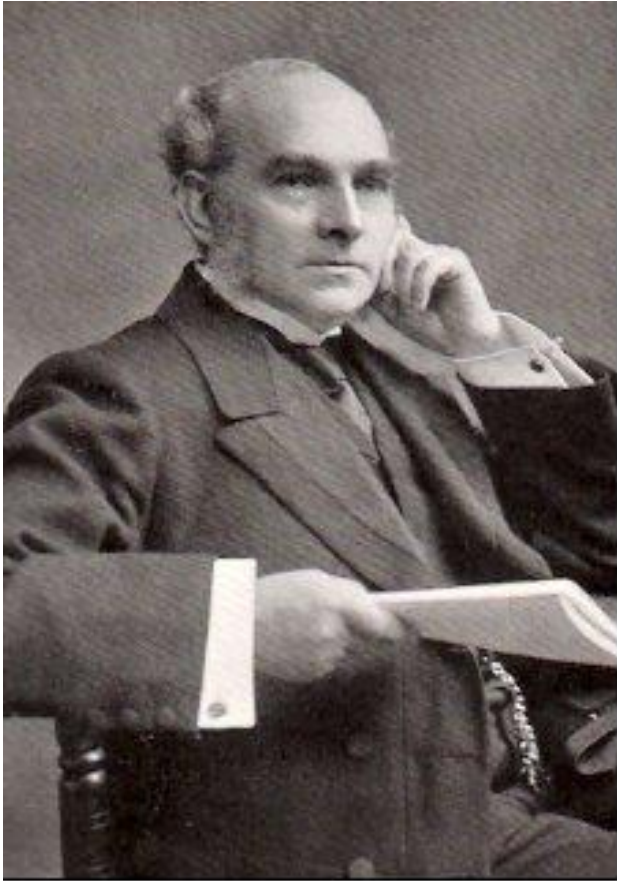




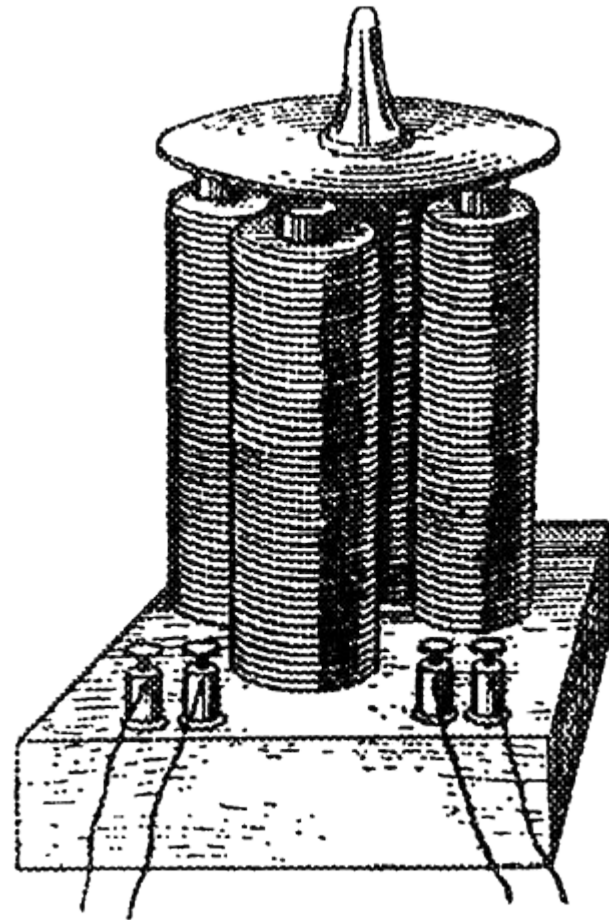
Сэр Чарльз Уитстон

Изобретения:

- музыкальный инструмент
 концертина
- стрелочный телеграф
- синхронный двигатель
- устройство для измерения
сопротивления
(мост Уитстона)
- стереоскоп

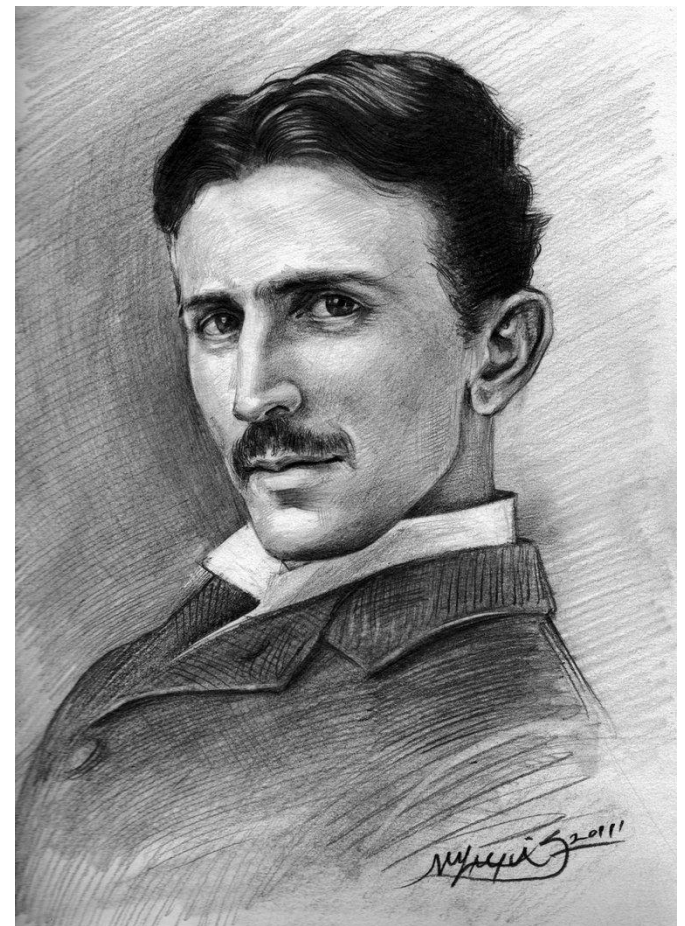


Walter Bailey





Галилео Феррарис

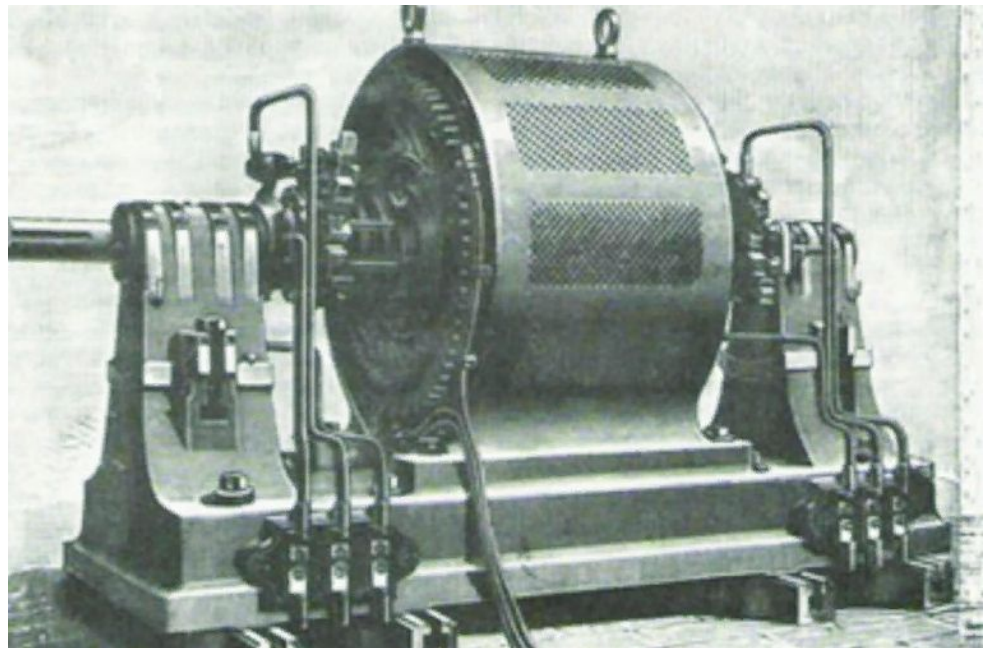


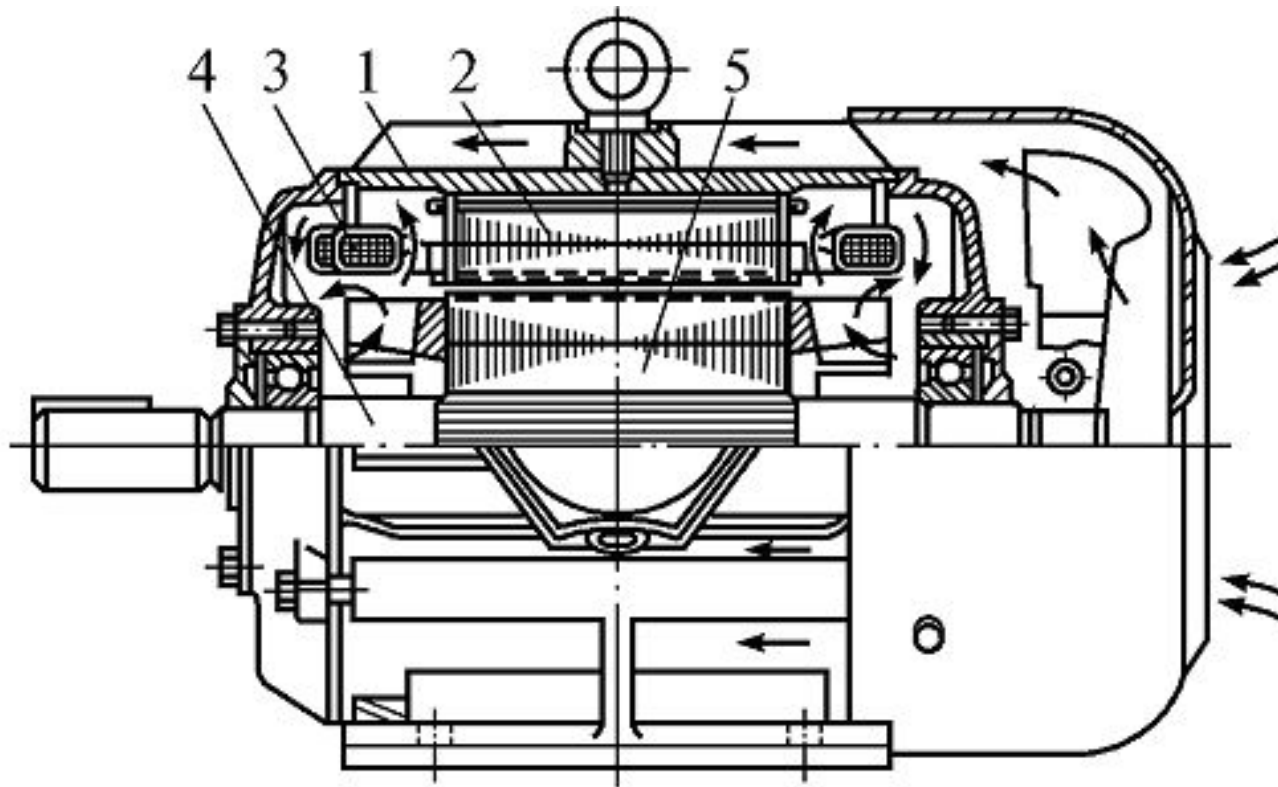
Никола Тесла





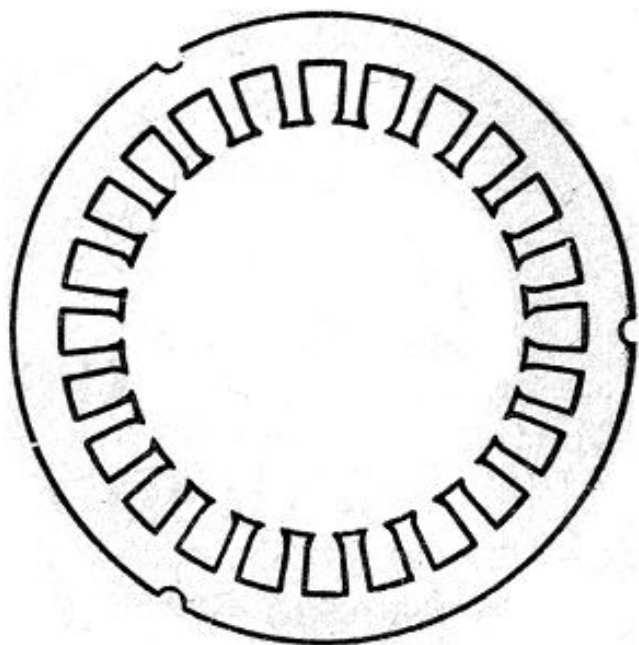
М.О. Доливо-Добровольский



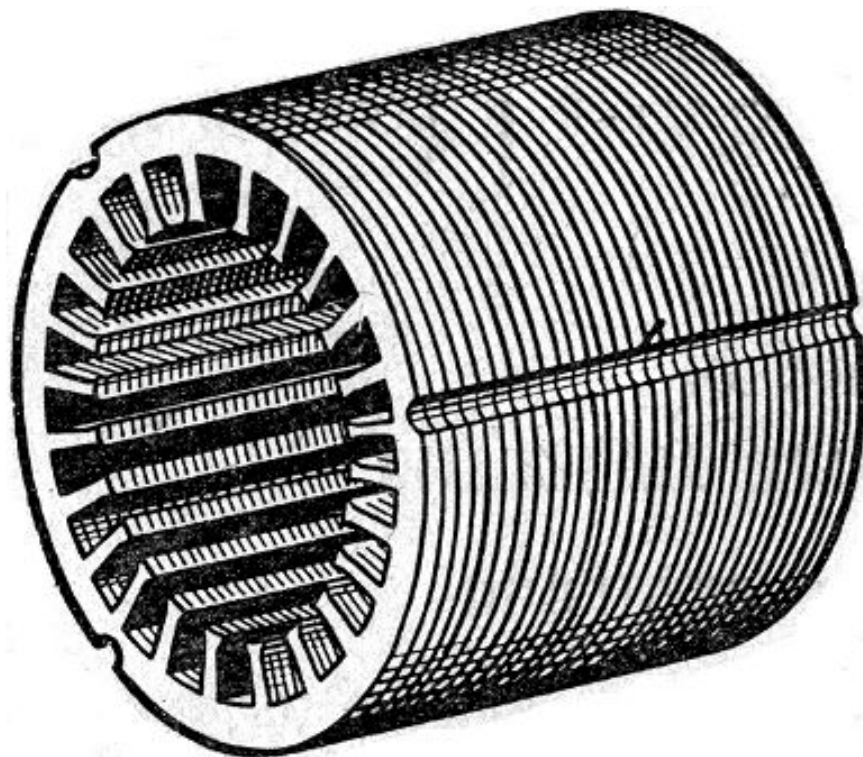


Конструкция АД:

1 – корпус; 2 – сердечник статора; 3 – обмотки; 4 – вал; 5 – сердечник ротора



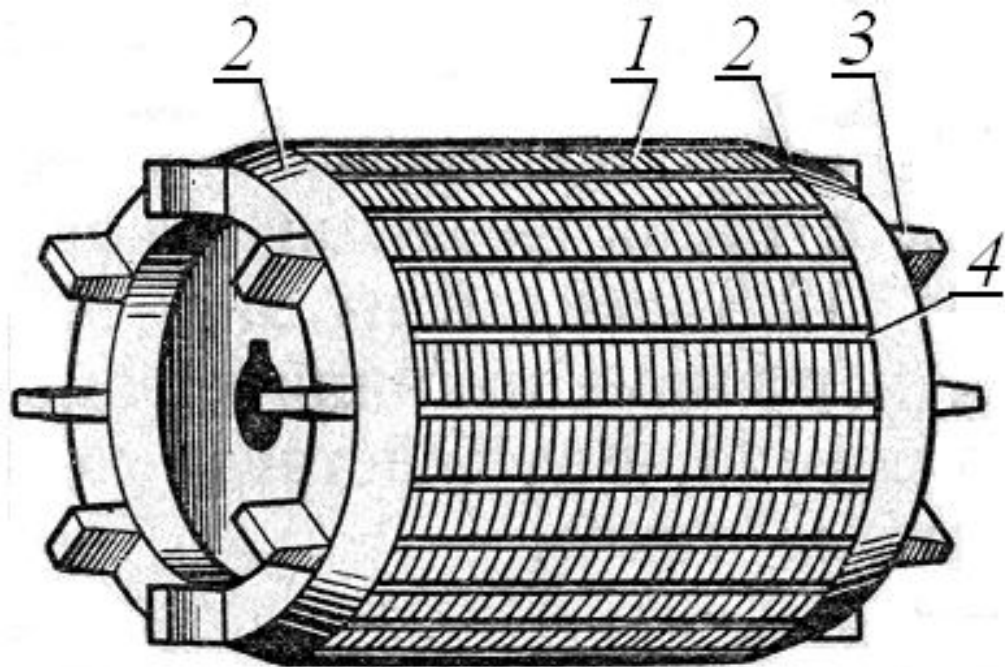
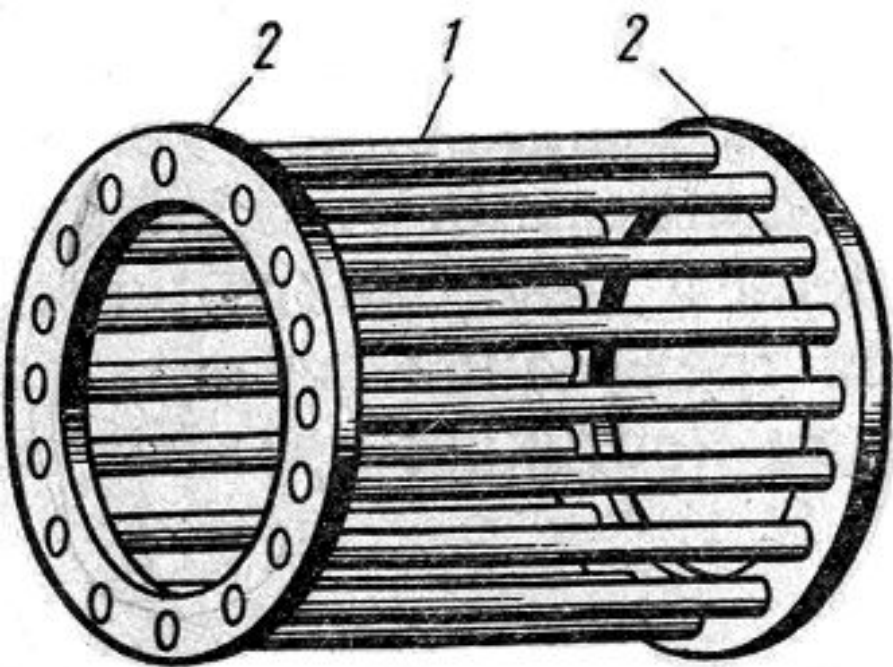
а)



б)

Сердечник статора АД:

а – лист статора; б – собранный сердечник



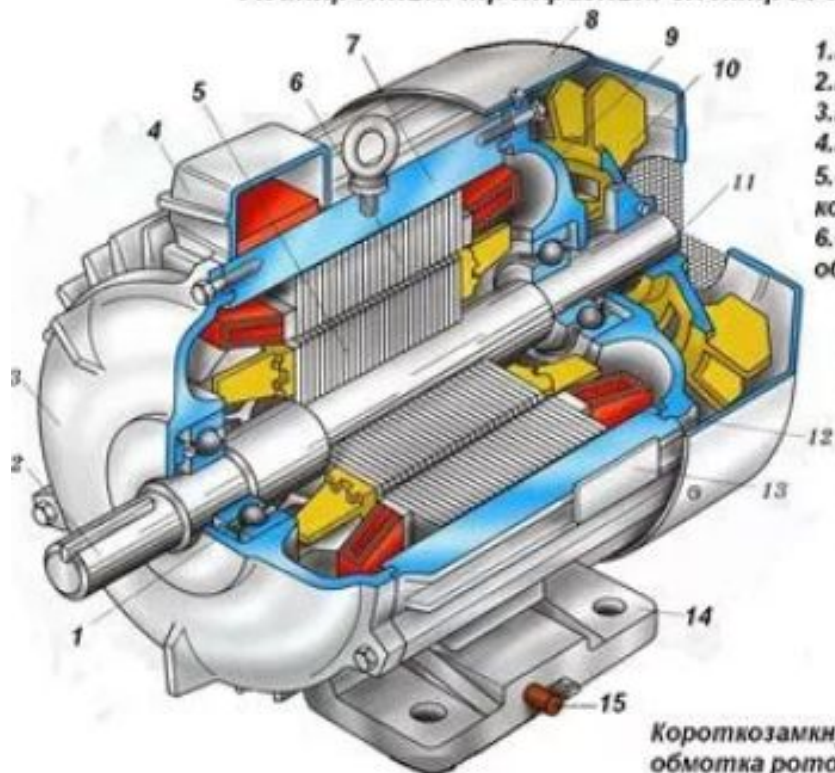
а)

б)

Ротор АД: а – обмотка короткозамкнутого ротора; б – короткозамкнутый ротор в сборе.

1 – стержни; 2 – кольца; 3 – приливы; 4 – сердечник ротора

Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором

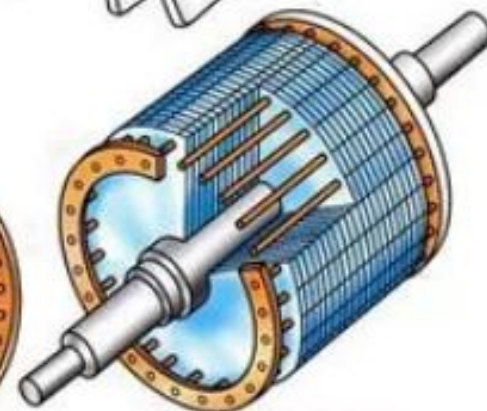


1. Подшипник;
2. Вал;
3. Подшипниковый щит;
4. Коробка выводов;
5. Сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой;
6. Сердечник статора с обмоткой;
7. Корпус;
8. Кожух вентилятора;
9. Подшипниковый щит;
10. Вентилятор;
11. Подшипник;
12. Обмотка статора;
13. Паспортная табличка;
14. Лапы;
15. Болт заземления.

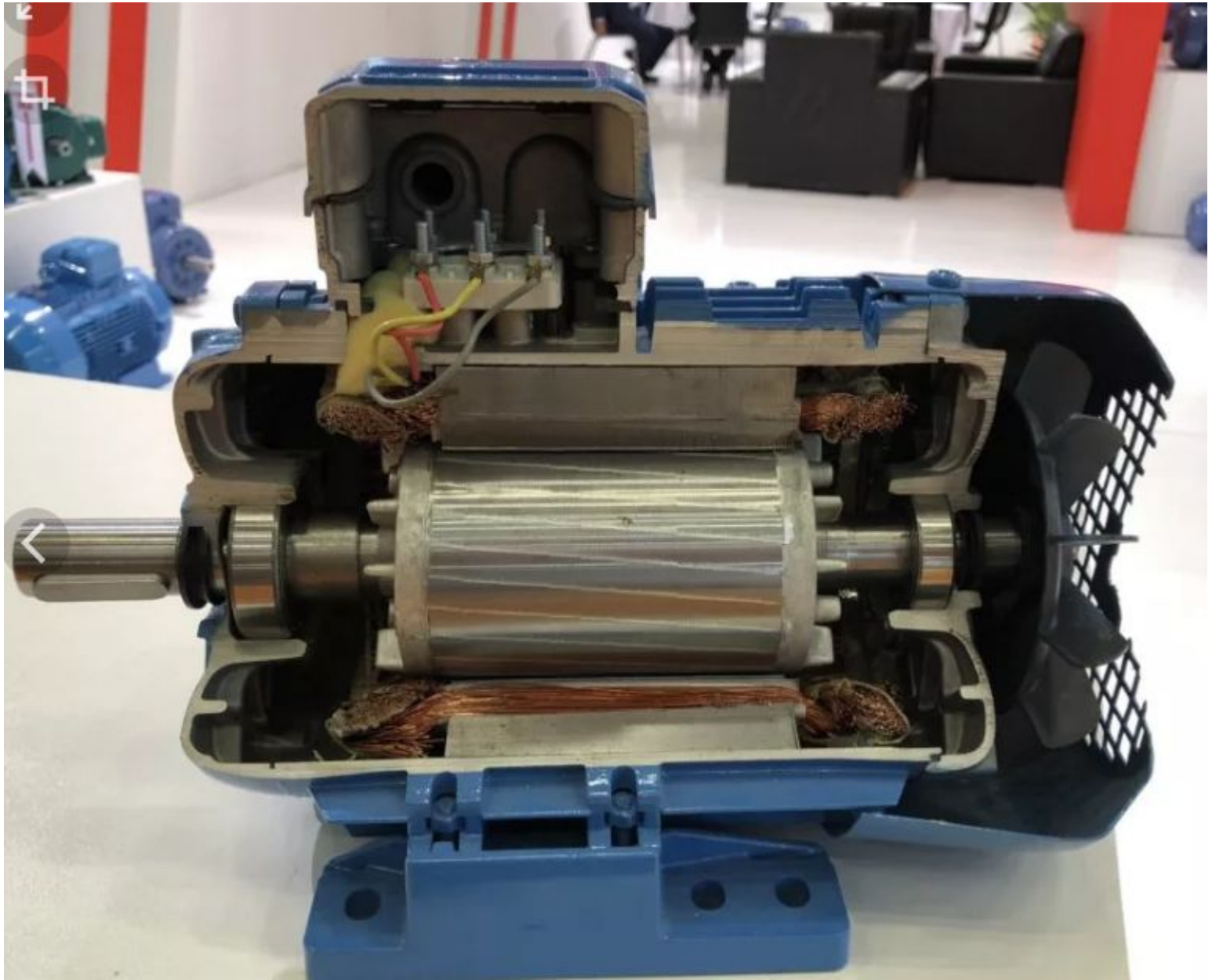
Короткозамкнутая обмотка ротора без сердечника

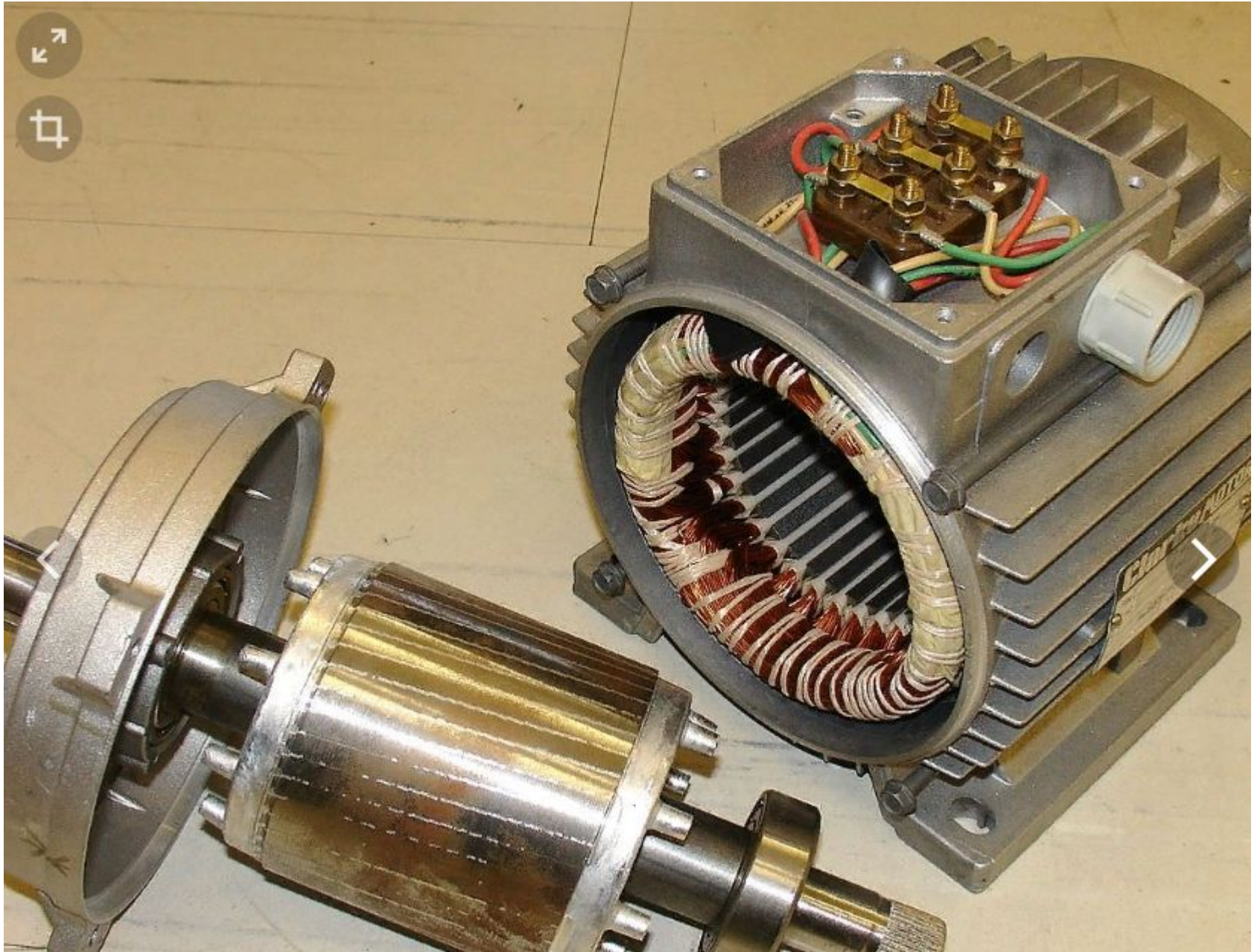


Литая обмотка

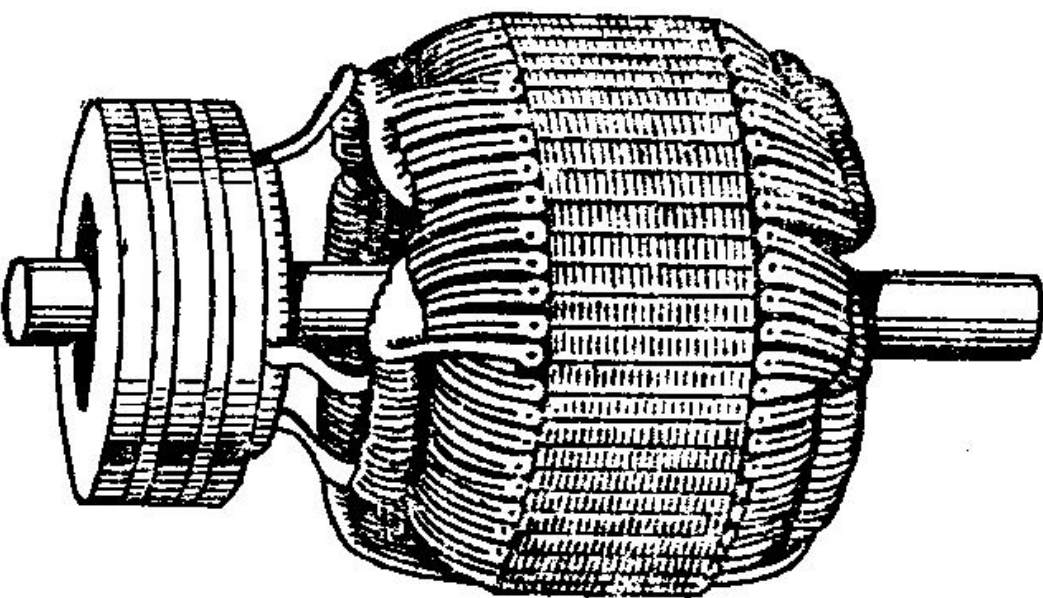


Сварная обмотка

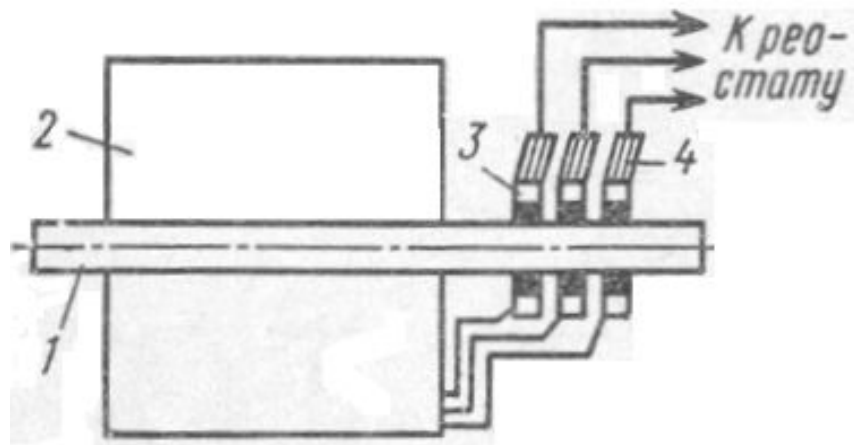








а)



б)

Фазный ротор: а – вид в сборе; б – схема.

1 – вал; 2 – сердечник с обмоткой; 3 – контактные кольца; 4 – щетки.

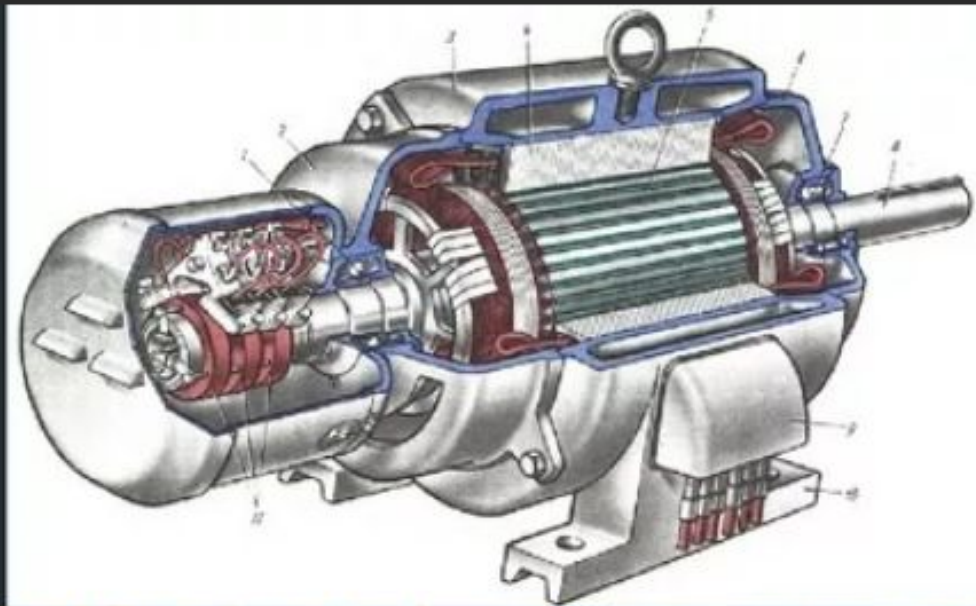


Рис. 4. Устройство трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором:

1, 7 – подшипники; 2, 6 – подшипниковые щиты; 3 – корпус; 4 – сердечник статора с обмоткой; 5 – сердечник ротора; 8 – вал; 9 – коробка выводов; 10 – лапы; 11 – контактные кольца

Фазная обмотка ротора выполнена подобно статорной, т.е. проводники соответствующим образом соединены между собой, образуя трехфазную систему

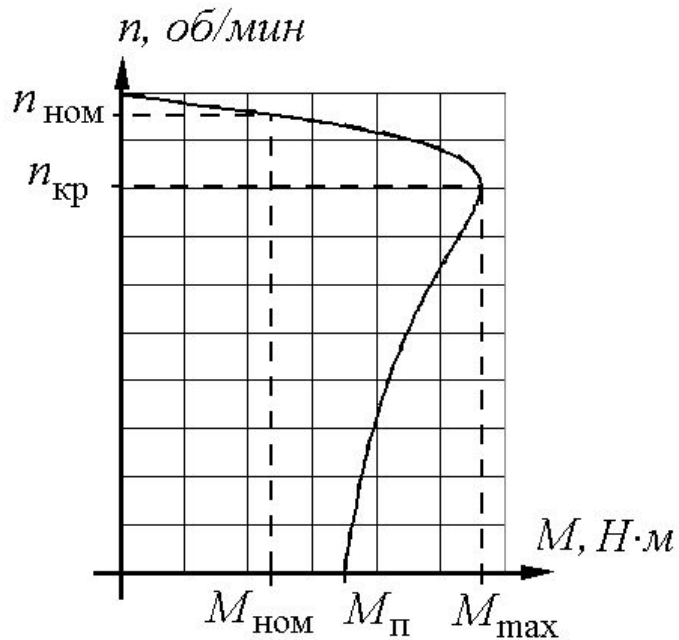
Основные уравнения и характеристики асинхронного двигателя

Частота вращения магнитного поля $n_1 = \frac{60f}{p}$

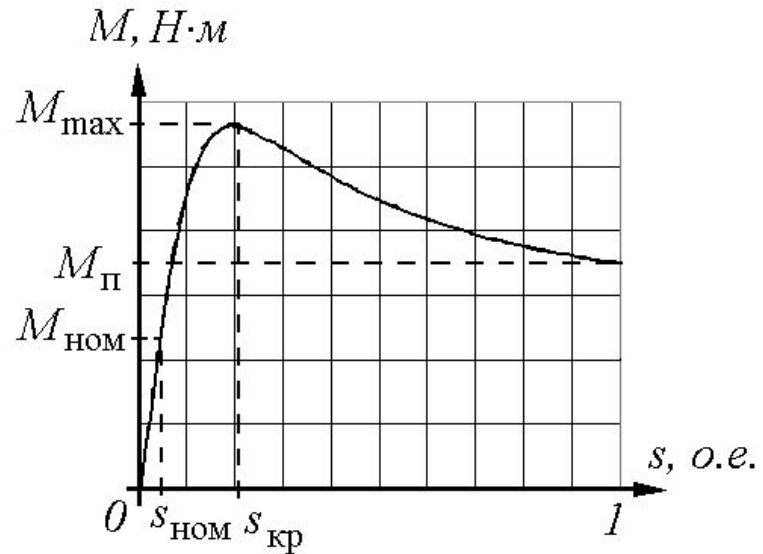
Скольжение $s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}$

Потребляемый ток $I_1 \approx \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$

Уравнение электромагнитного момента трехфазного АД $M = \frac{3U_1^2 R'_2 p}{2\pi f s \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$



а)



б)

Характеристики АД:

а – механическая; б – «момент – скольжение»

Максимальный или критический момент

$$M_{max} \approx \frac{3pU_1^2}{4\pi f (X_1 + X'_2)}$$

$$s_{кр} = \frac{R'_2}{X_1 + X'_2}$$

$s < s_{кр}$ работа двигателя устойчивая

$s > s_{кр}$ работа двигателя неустойчивая

Способы пуска АД

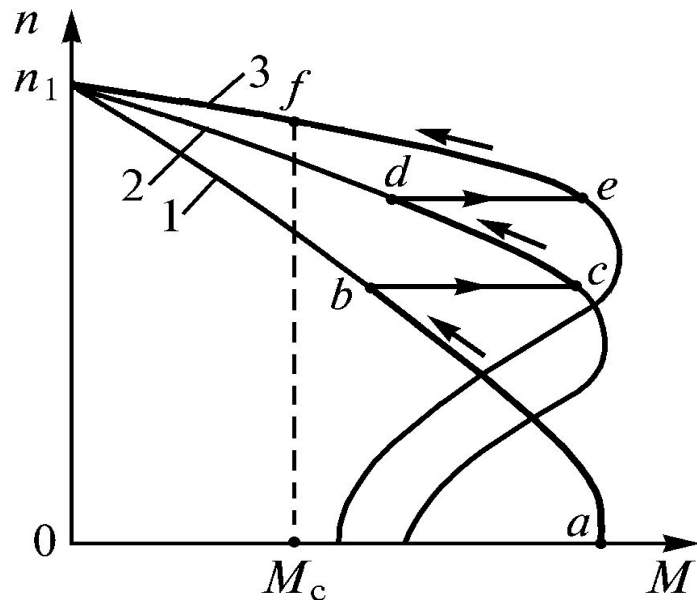
Прямой пуск осуществляется включением обмотки статора на напряжение сети

Пуск переключением обмотки статора применяется для двигателей, работающих при соединении обмоток статора в треугольник

При *автотрансформаторном пуске* обмотка статора включается на пониженное напряжение с помощью автотрансформатора

Пуск двигателя с фазным ротором осуществляется путем включения пускового реостата в цепь ротора через контактные кольца и щетки.

Пуск двигателя с фазным ротором



$$R'_p = (X_1 + X'_2) - R'_2$$

Сопротивление пускового резистора R_p в фазе выбирают таким, чтобы пусковой момент был максимальным

В момент пуска двигатель развивает максимальный момент, и разгон происходит по механической характеристике 1.

При уменьшении сопротивления резистора двигатель переходит на механическую характеристику 2, а затем 3.

Как правило, уменьшение сопротивления происходит ступенчато при помощи аппаратуры управления.

Установившийся режим наступает в точке f соответствующей равенству моментов двигателя и нагрузки.

Регулирование частоты вращения двигателя

Частота вращения асинхронного двигателя

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60 f(1 - s)}{p}$$

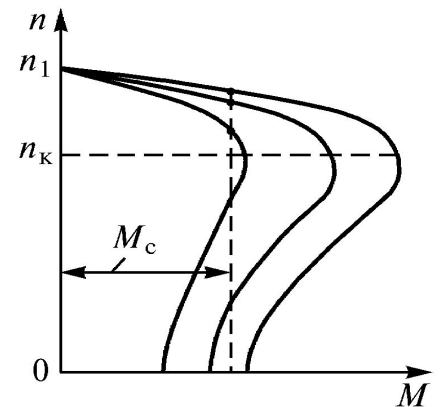
Регулирование изменением частоты тока статора (*частотное регулирование*)

Частотное регулирование обычно совмещают с изменением напряжения по закону $U_1/f = const$

Регулирование *изменением числа пар полюсов*

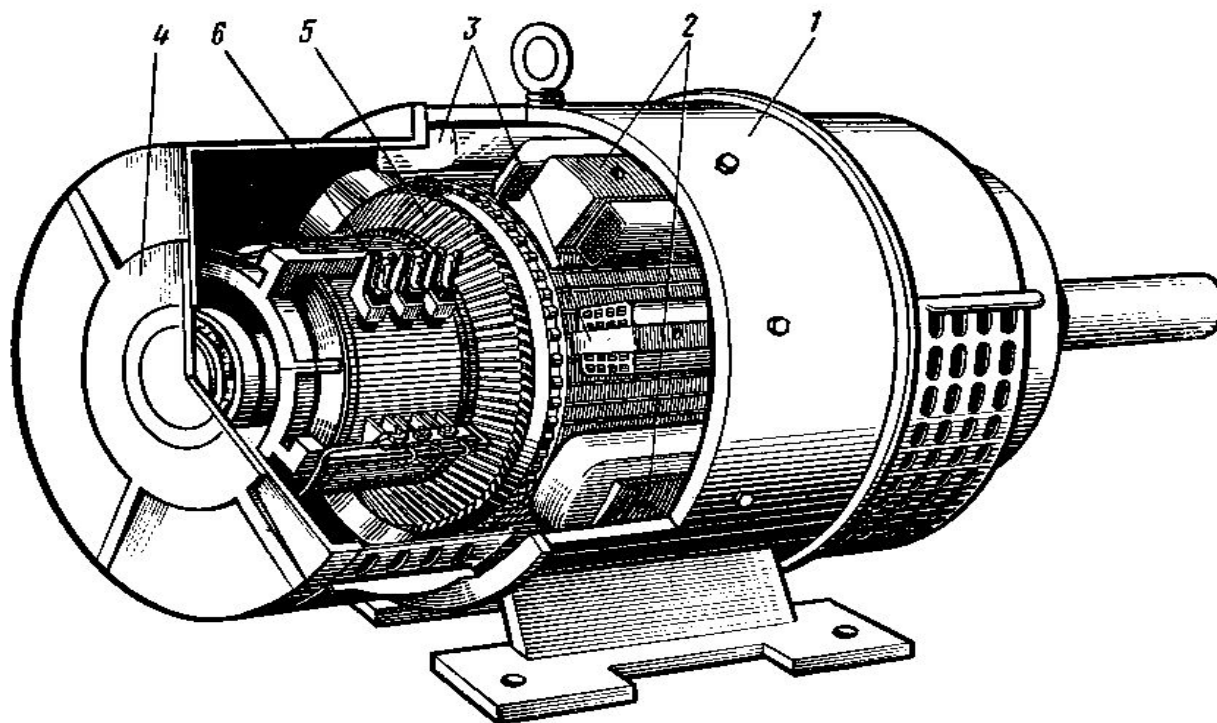
Регулирование *уменьшением напряжения на статоре*

При уменьшении напряжения U_1 момент двигателя изменяется пропорционально U_1^2 , что изменяет его механические характеристики, следовательно, и скольжение



Семейство механических характеристик при $U_1 - var$

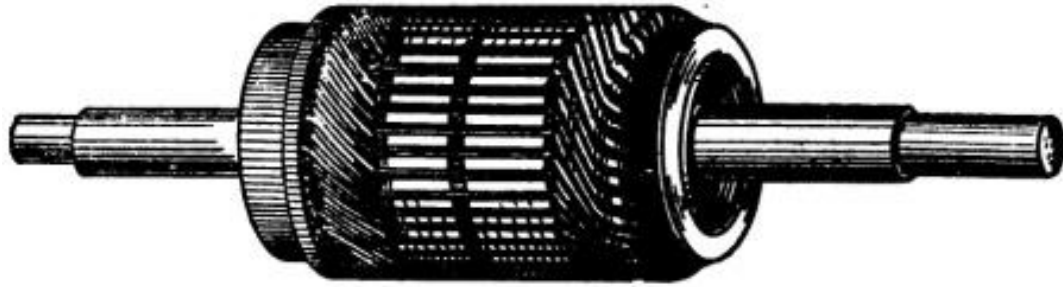
Электрические машины постоянного тока (МПТ)



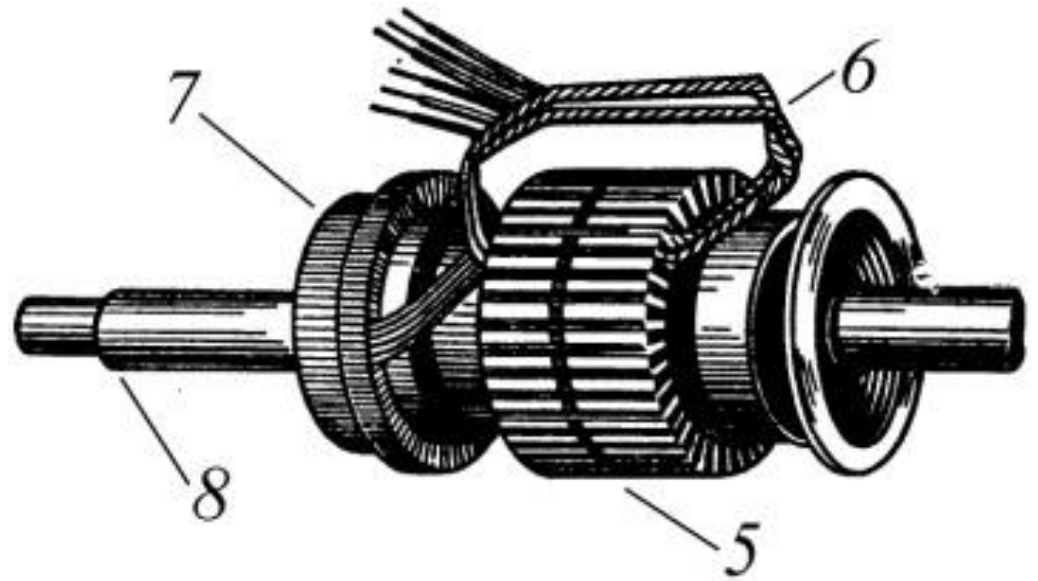
Общий вид машины постоянного тока:

1 – станина; 2 – главные полюса; 3 – добавочные полюса; 4 – подшипниковые щиты; 5 – якорь; щеточно-коллекторный узел

Якорь (ротор) машины постоянного тока



а) собранный якорь

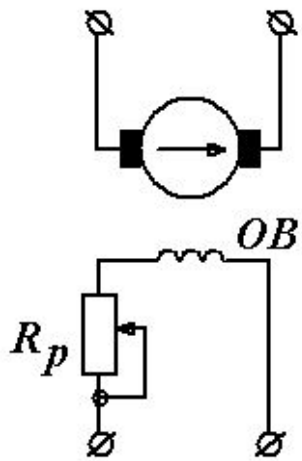


б) необмотанный сердечник якоря с коллектором
5 – сердечник; 6 – обмотка якоря; 7 – коллектор; 8 – вал якоря

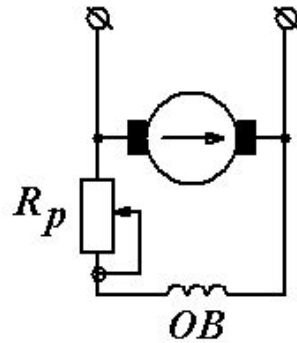


в) лист якоря

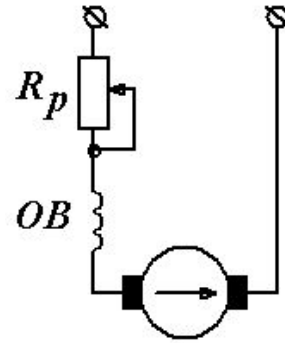
Способы возбуждения машин постоянного тока



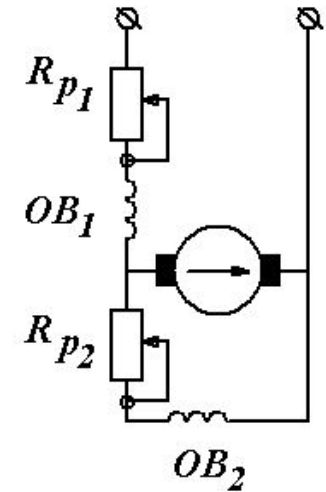
а)



б)



в)



г)

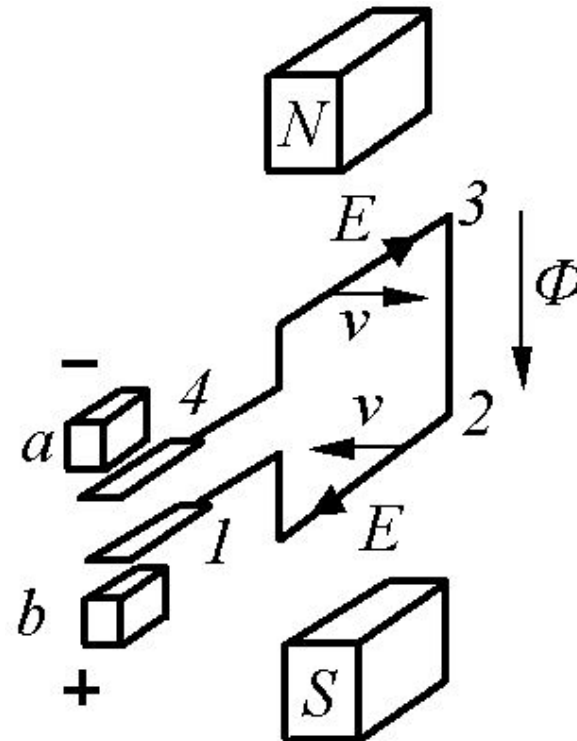
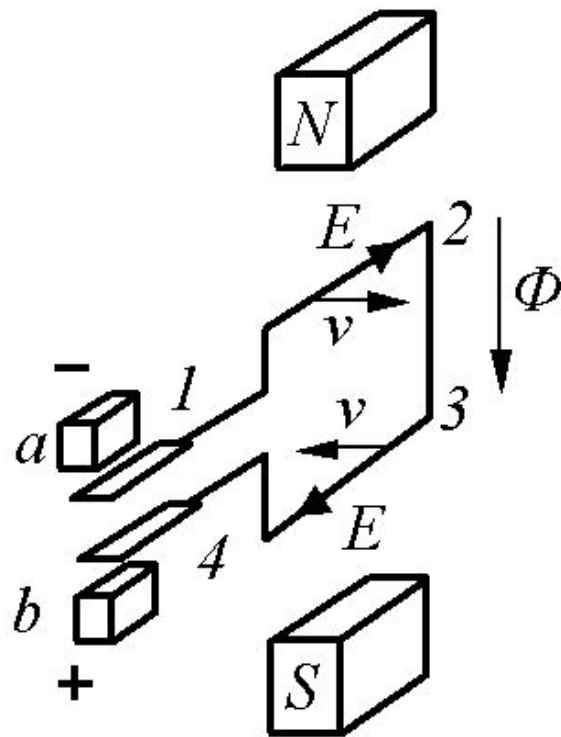
Схемы возбуждения машин постоянного тока:

а – независимого; б – параллельного; в – последовательного;

г – смешанного

R_p – регулировочный реостат, OB – обмотка возбуждения.

Принцип действия генератора постоянного тока (ГПТ)



Основные уравнения и внешние характеристики ГПТ

1) ЭДС якоря

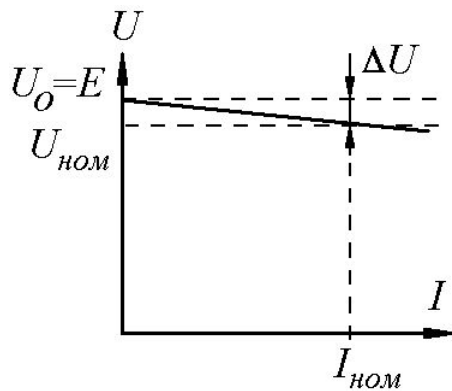
$$E_{я} = C_e n \Phi$$

2) Уравнение напряжения генератора

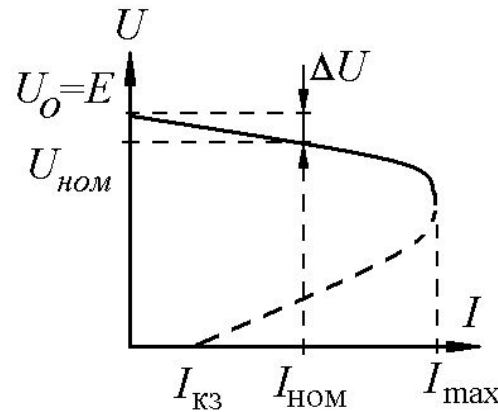
$$U = E_{я} - I_{я} R_{я}$$

3) Уравнение момента

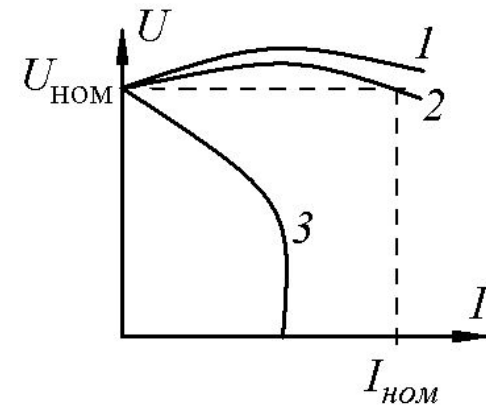
$$M_{эм} = C_m I_{я} \Phi$$



а)



б)



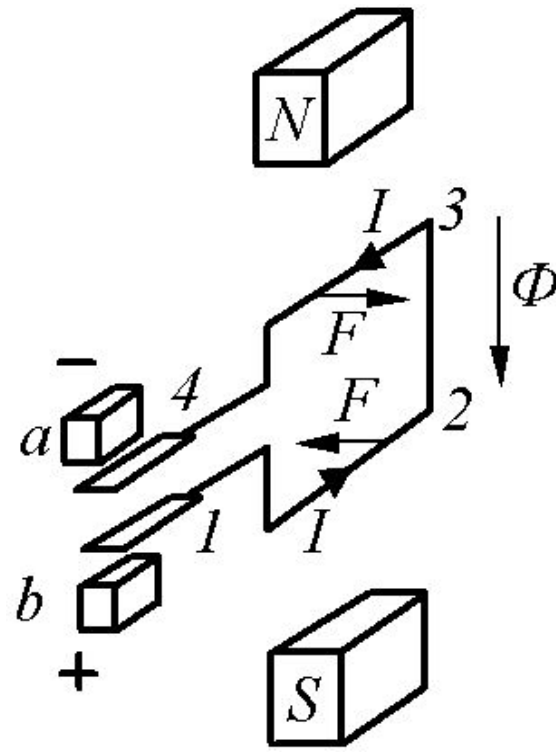
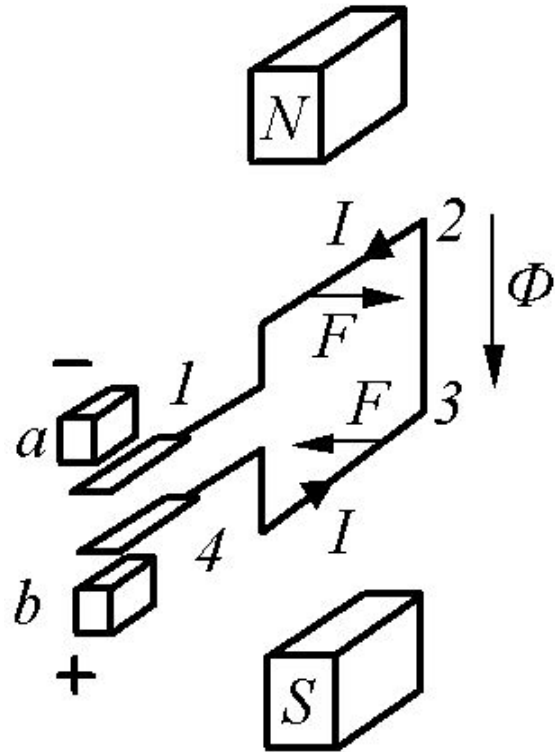
в)

Внешние характеристики ГПТ:

а – независимого; б – параллельного, в – смешанного возбуждений;

1, 2 – согласное включение обмоток; 3 – встречное включение обмоток.

Принцип действия двигателя постоянного тока (ДПТ)



Основные уравнения двигателя постоянного тока

1) ЭДС якоря $E_{я} = C_e n \Phi$

2) Уравнение электрического равновесия $U = E_{я} + I_{я} R_{я}$

3) Уравнение момента $M_{эм} = C_m I_{я} \Phi$

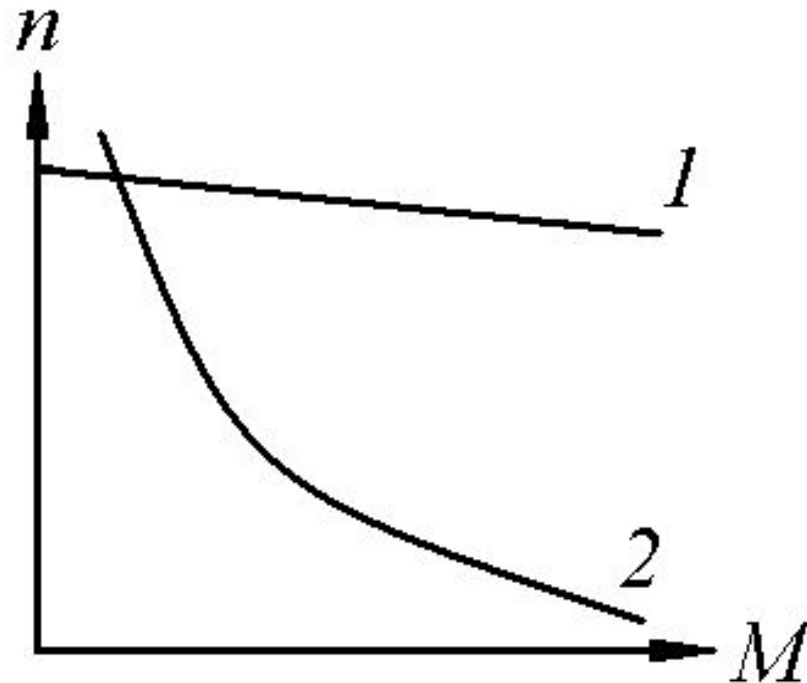
4) Коэффициент полезного действия (КПД) $\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum P_n}{P_2 + \sum P_n}$

5) Уравнение механической характеристики

$$n = \frac{E_{я}}{C_e \Phi} = \frac{U - I_{я} R_{я}}{C_e \Phi} = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{M R_{я}}{C_e C_m \Phi^2}$$

Механическая характеристика ДПТ – это зависимость момента на валу от частоты вращения $M = f(n)$

Характеристики двигателя постоянного тока



Механические характеристики ДПТ:

1 — параллельного возбуждения; 2 — последовательного возбуждения

Способы регулирования частоты вращения ДПТ

Частоту вращения ДПТ можно регулировать за счет изменения напряжения питания U , величины магнитного потока Φ и величины сопротивления якоря $R_{я}$.

В настоящее время, благодаря развитию электронной техники наибольшее распространение получило регулирование изменением напряжения питания U .

У ДПТ независимого и параллельного возбуждения регулирование частоты вращения возможно за счет изменения тока в обмотке возбуждения (т.е. изменения магнитного потока Φ).

Также для этих ДПТ используется комбинированный способ регулирования изменением U и Φ .

Регулирование за счет изменения $R_{я}$ практически не используется из-за крайней неэкономичности.