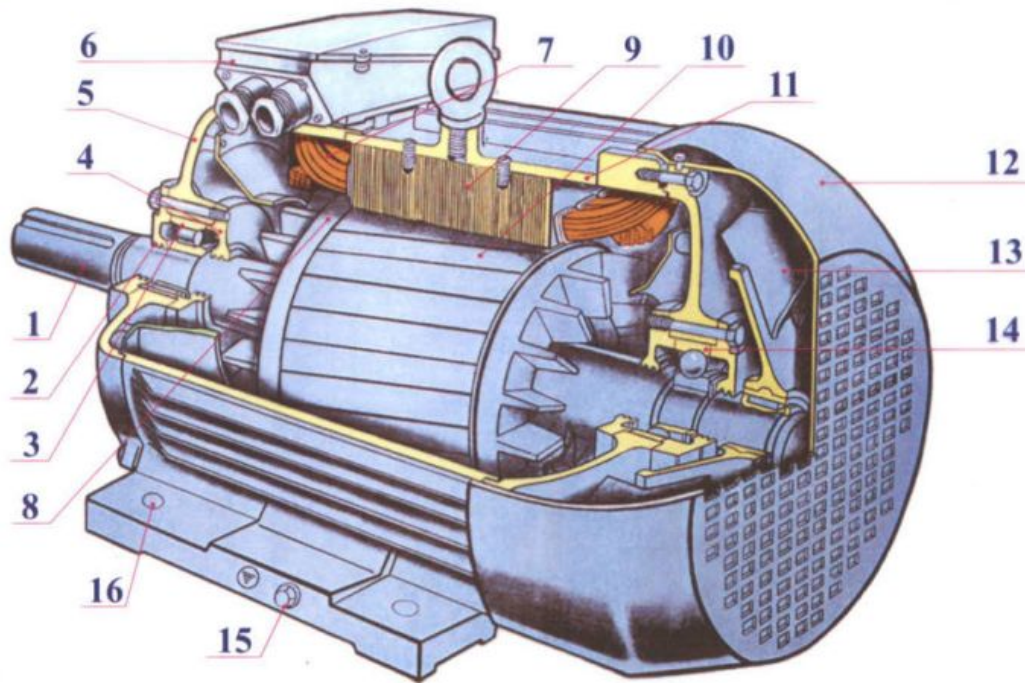


ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ



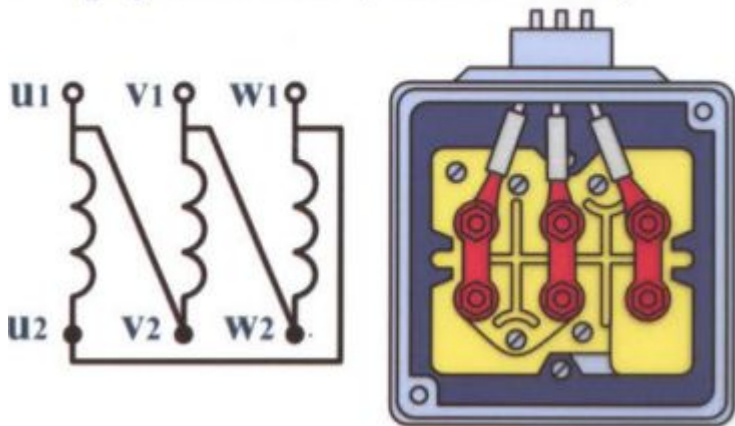
(ИСПОЛНЕНИЕ IP 44)

**АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

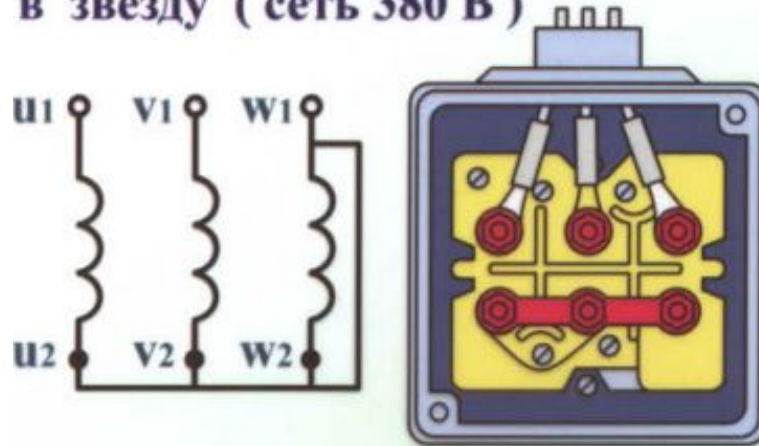


- 1 - вал;
- 2 - наружная крышка подшипника;
- 3 - роликовый подшипник;
- 4 - внутренняя крышка подшипника;
- 5 - подшипниковый щит;
- 6 - коробка выводов;
- 7 - обмотка статора;
- 8 - обмотка ротора;
- 9 - сердечник статора;
- 10 - сердечник ротора;
- 11 - корпус электродвигателя;
- 12 - кожух вентилятора;
- 13 - вентилятор;
- 14 - шариковый подшипник;
- 15 - болт заземления;
- 16 - отверстия для болта крепления двигателя.

**Схема соединения обмоток
в треугольник (сеть 220 В)**



**Схема соединения обмоток
в звезду (сеть 380 В)**

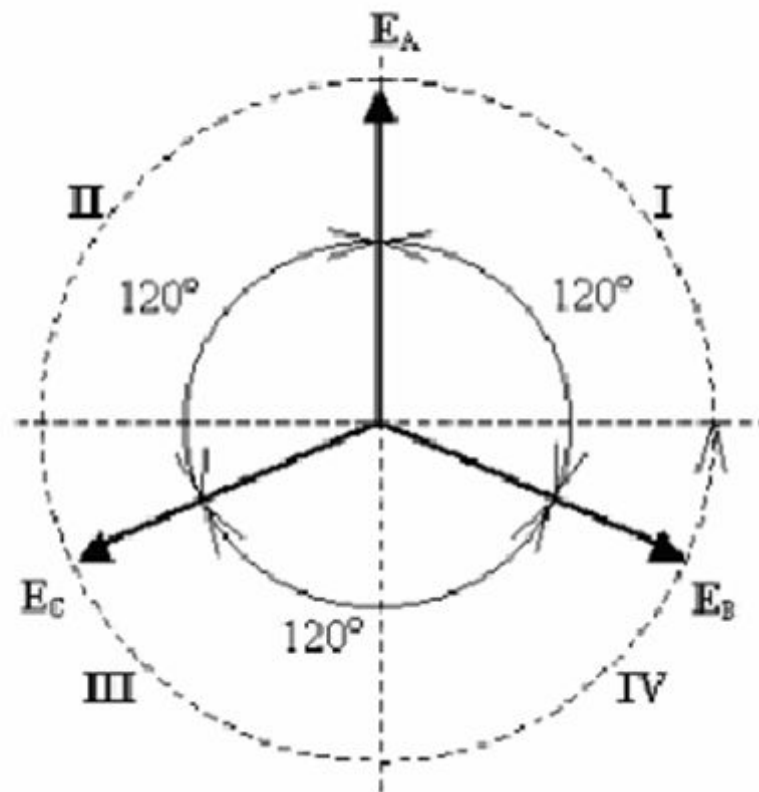
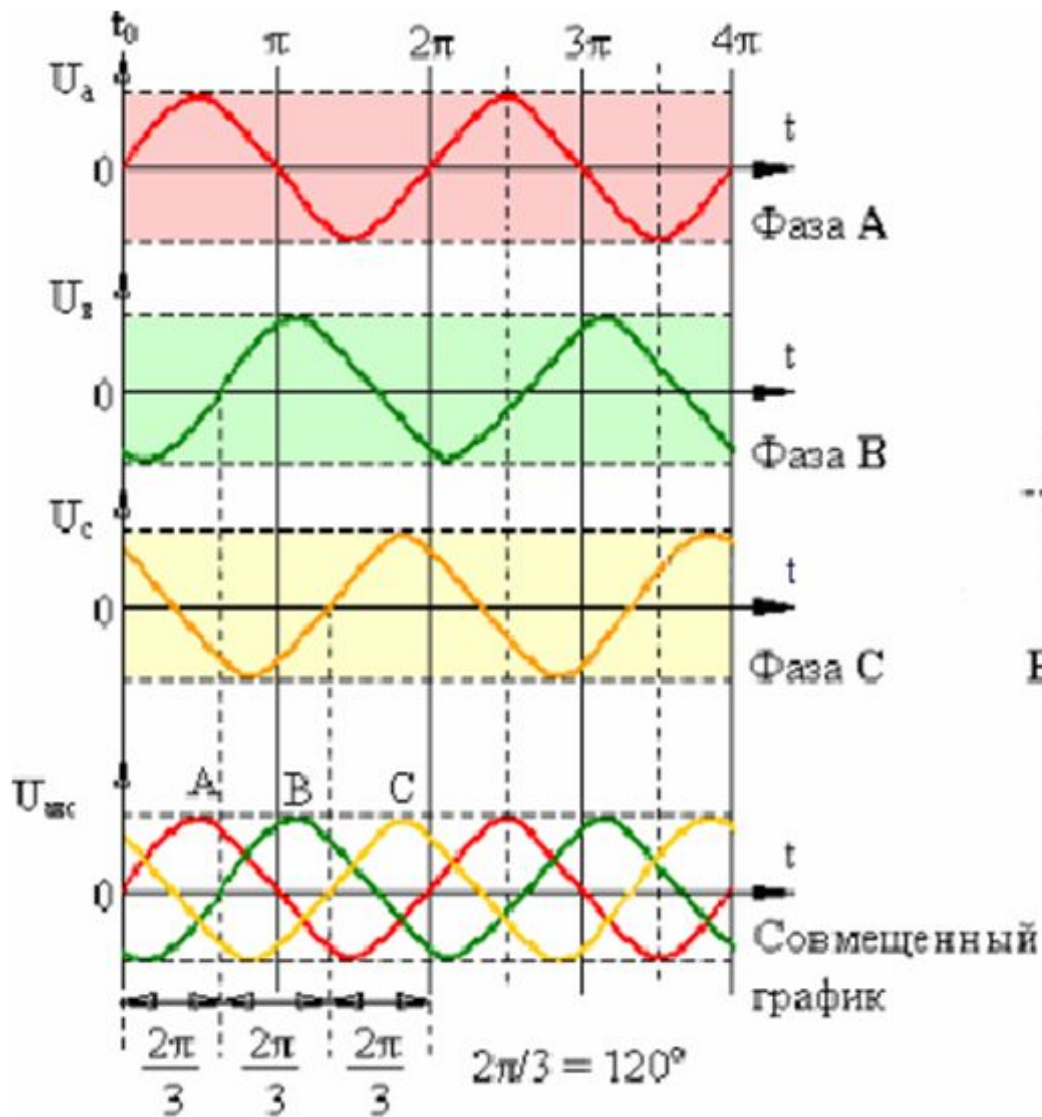


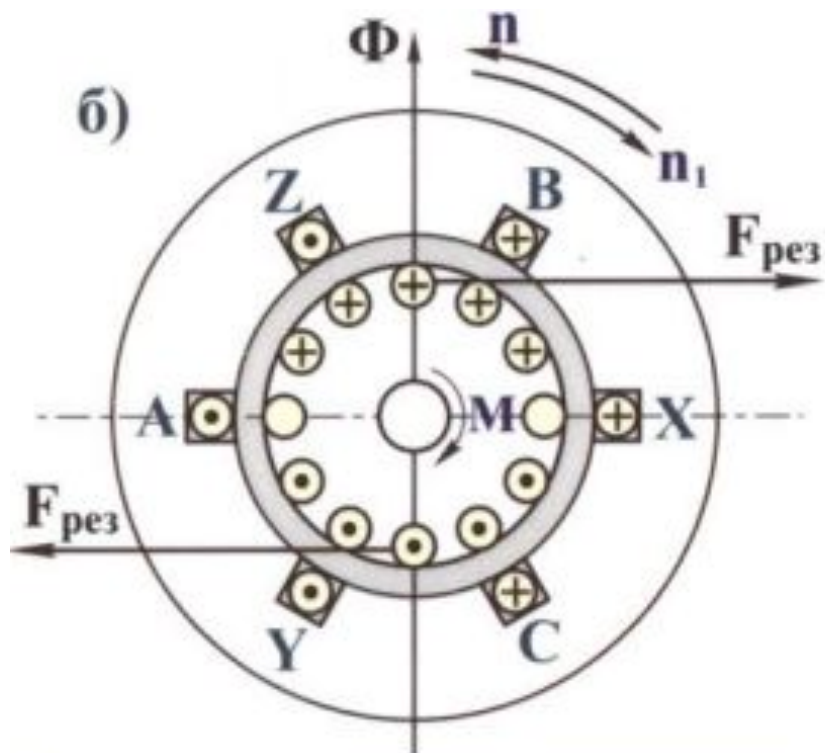
IP (International Protection) – степень защиты от проникновения.

ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код

Буквы кода	IP	—	
Первая характеристическая цифра		От проникновения внешних твердых предметов:	
	0	нет защиты	
	1	диаметром ≥ 50 мм	
	2	диаметром $\geq 12,5$ мм	
	3	диаметром $\geq 2,5$ мм	
	4	диаметром $\geq 1,0$ мм	
	5	пылезащищенное	
	6	пыленепроницаемое	
		Вторая характеристическая цифра	
		0	От вредного воздействия в результате проникновения воды:
		1	нет защиты
		2	вертикальное каплепадение
		3	каплепадение (номинальный угол 15°)
		4	дождевание
		5	сплошное обрызгивание
		6	действие струи
		7	сильное действие струи временное
		8	непродолжительное погружение
		9	длительное погружение горячая струя воды под высоким давлением

Трехфазное вращающееся ЭМ-поле

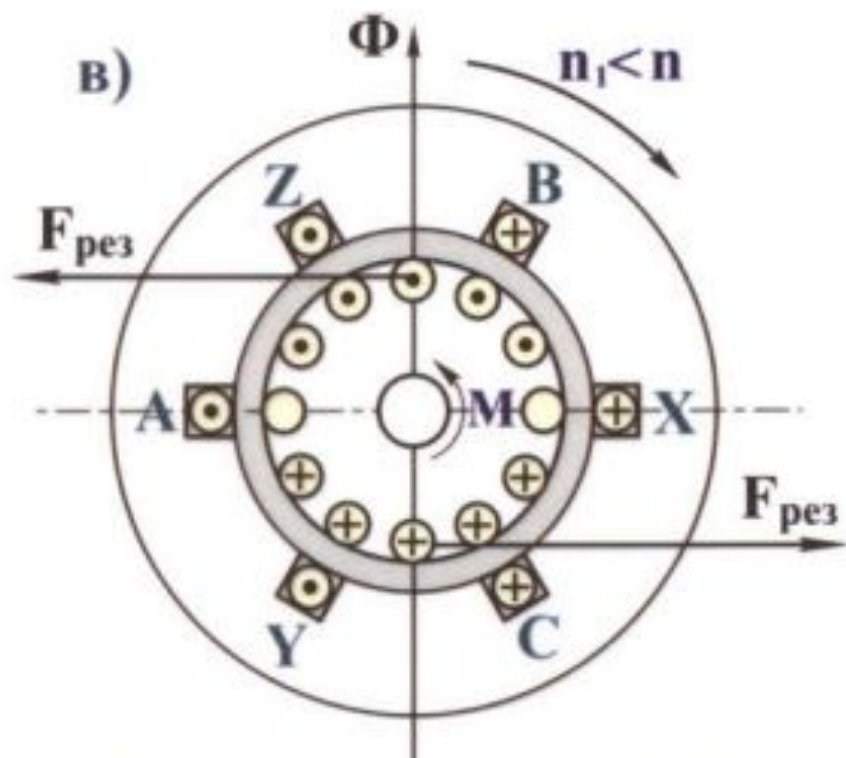




Режим электромагнитного
тормоза (б)

$$0 < n < -\infty$$

$$1 < S < +\infty$$



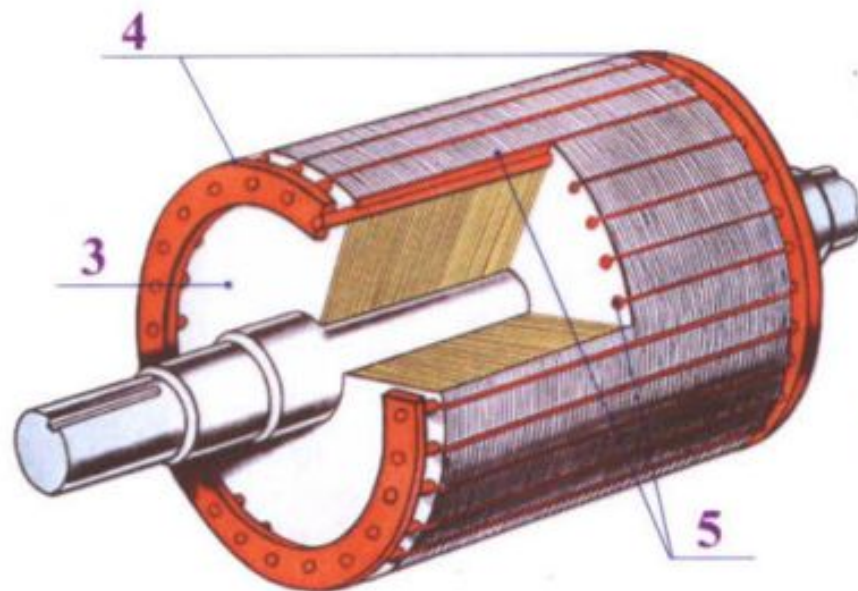
Режим генератора (в)

$$+\infty > n > n_1$$

$$-\infty < S < 0$$

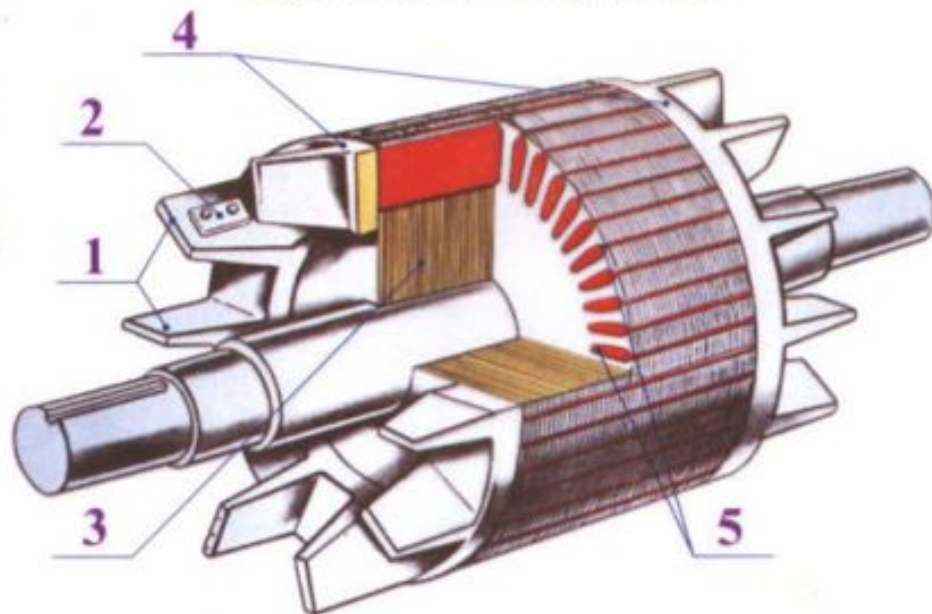
КОРТОКОЗАМКНУТЫЕ РОТОРЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ротор со сварной беличьей клеткой



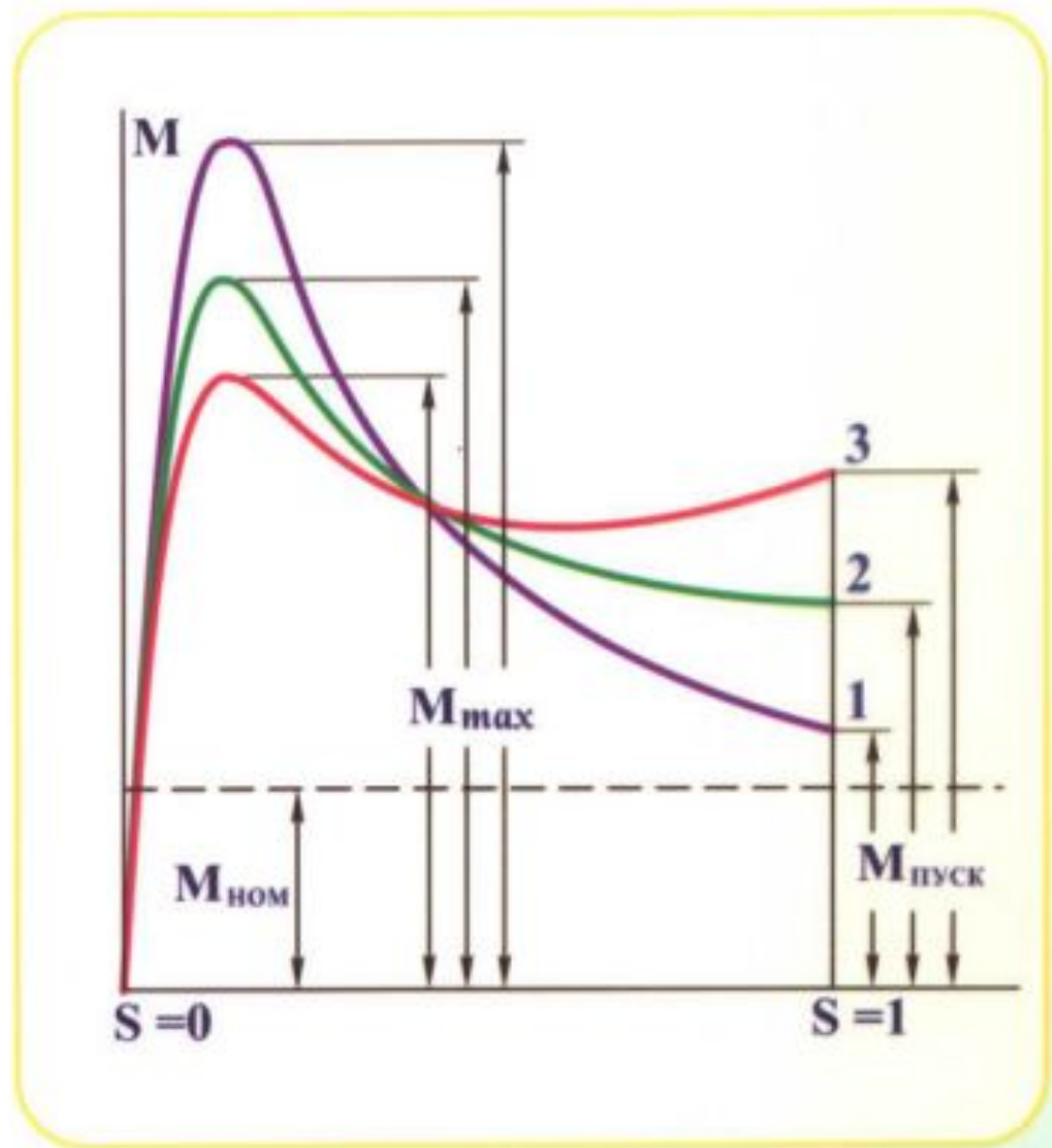
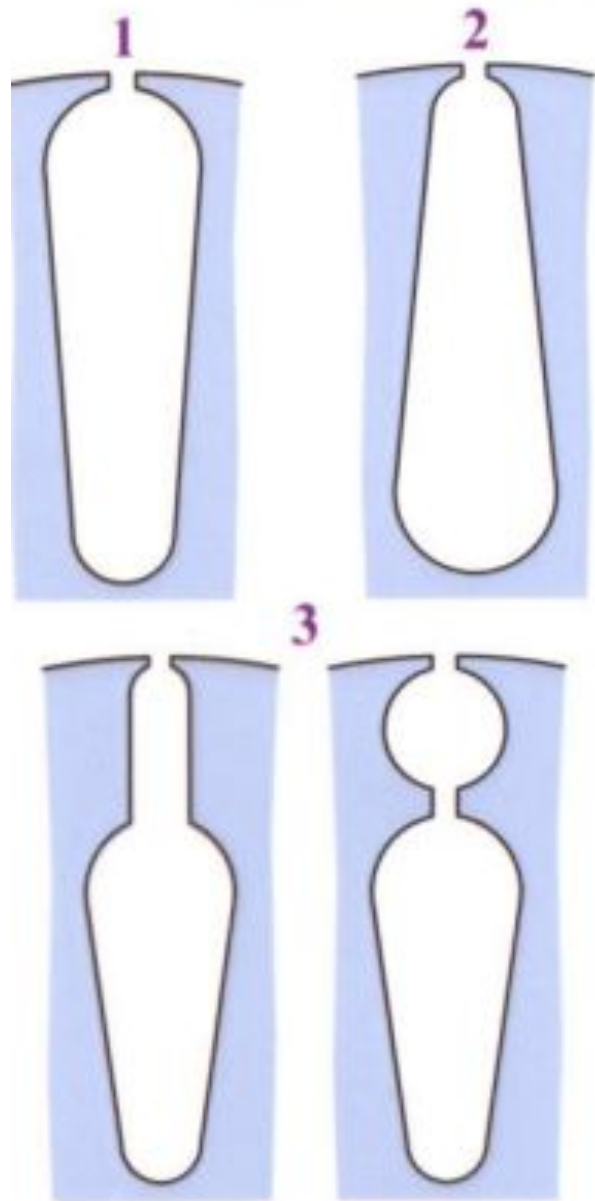
- 1 - вентиляционные лопатки;
- 2 - балансировочный груз;
- 3 - магнитопровод ротора;

Ротор с литой беличьей клеткой

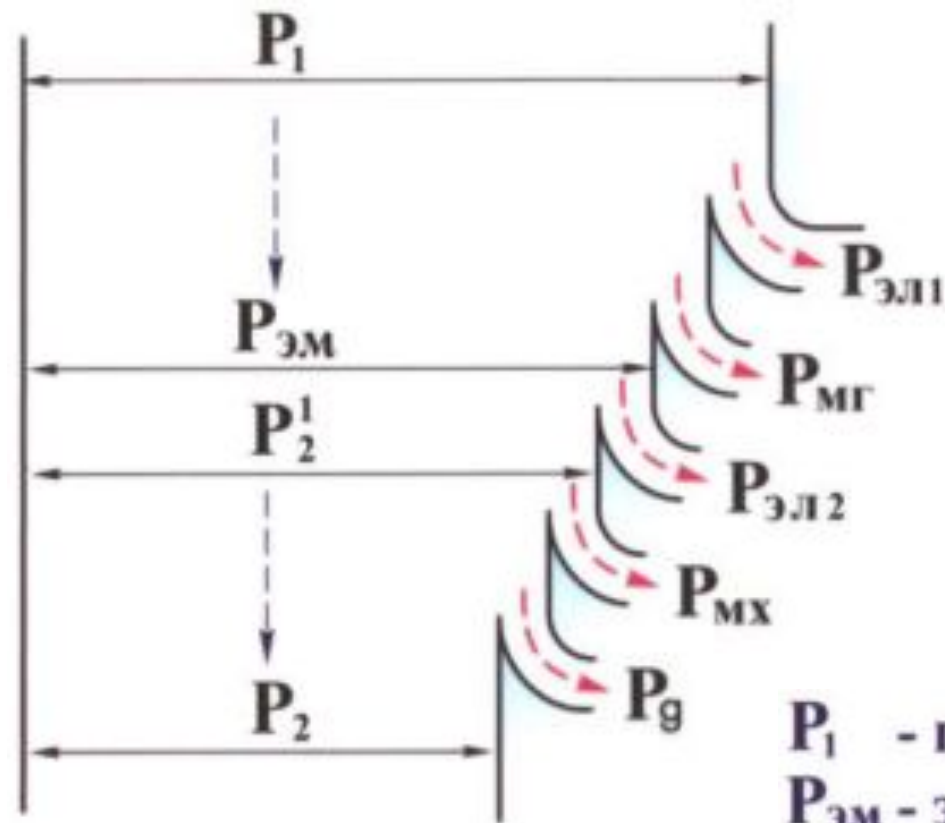


- 4 - короткозамыкающие кольца;
- 5 - стержни в пазах.

Пусковые характеристики двигателей с различными пазами ротора



Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя



P_1 - потребляемая мощность;

$P_{эм}$ - электромагнитная мощность;

P_2^1 - полная механическая мощность;

P_2 - мощность на валу;

$P_{эл1}$ - электрические потери в обмотке статора;

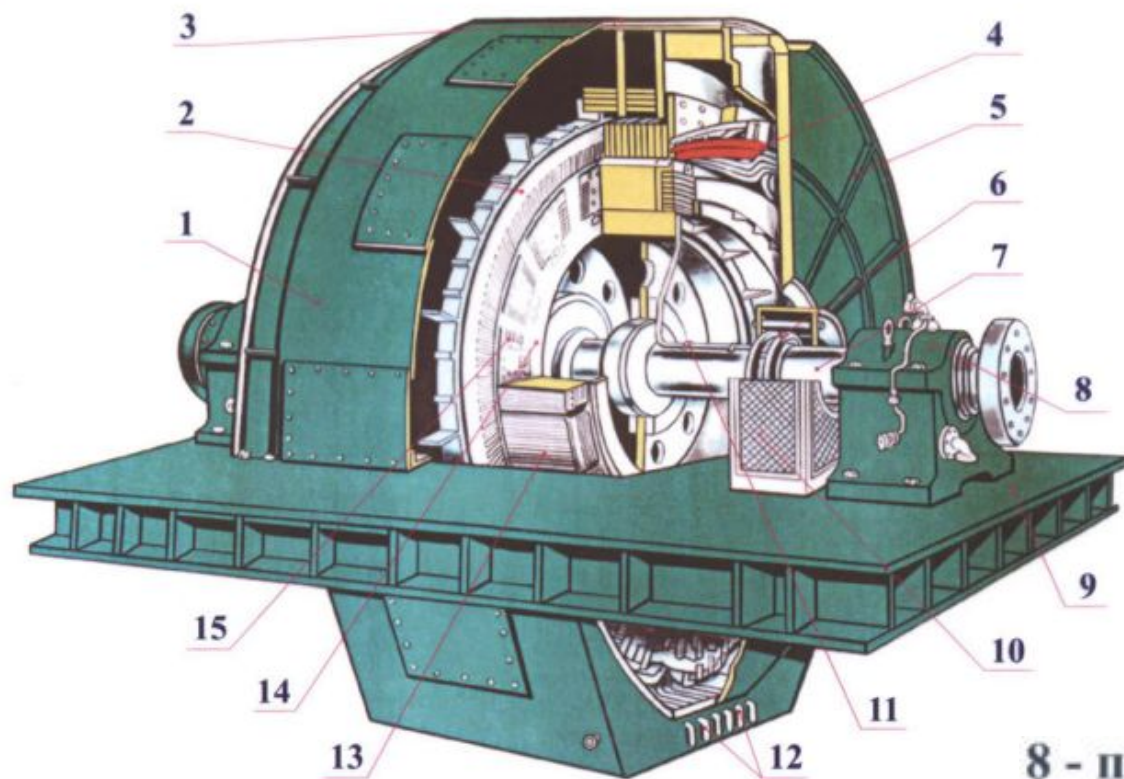
$P_{мг}$ - магнитные потери в пакете статора;

$P_{эл2}$ - электрические потери в обмотке ротора;

$P_{мх}$ - механические потери;

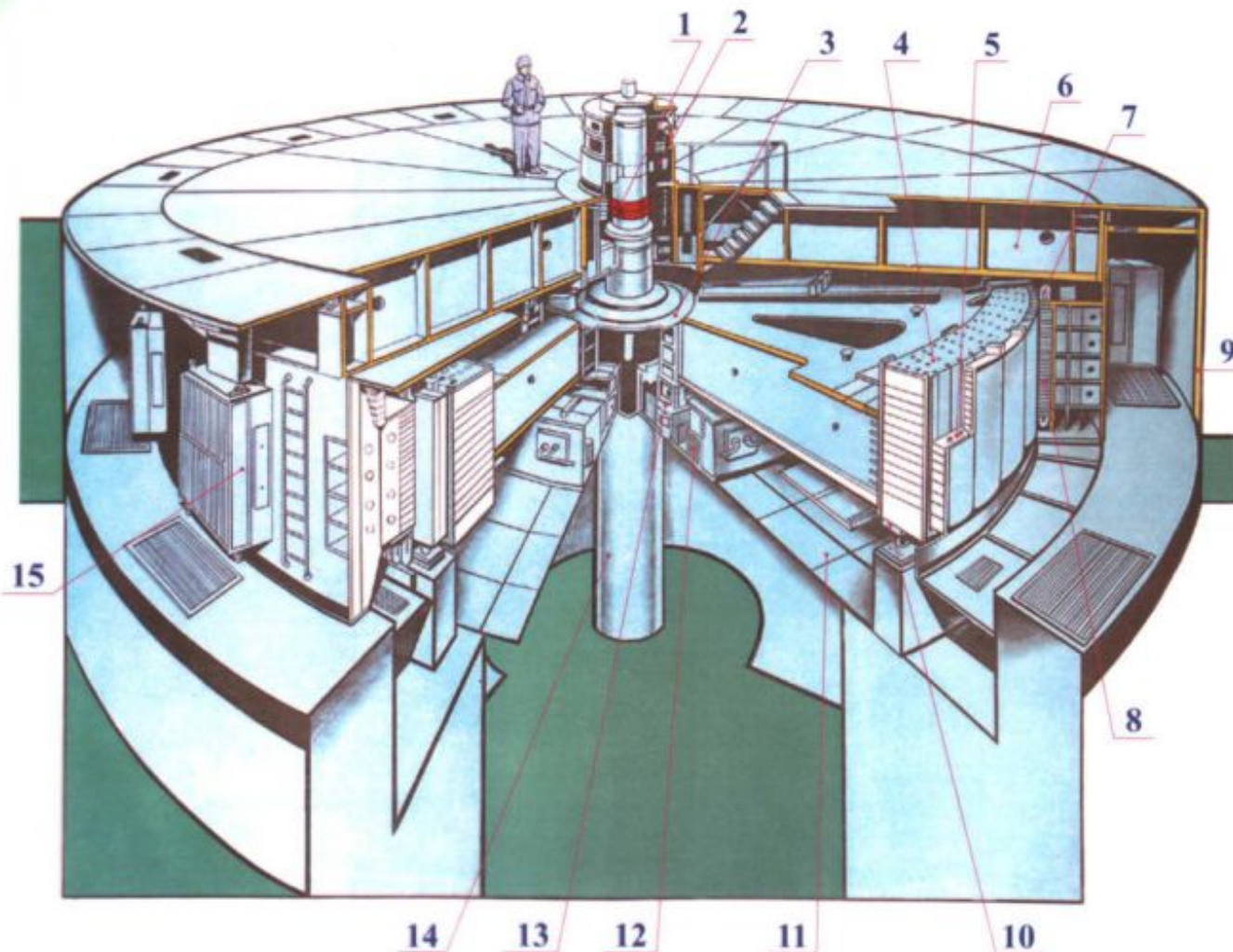
P_g - добавочные потери.

СИНХРОННЫЙ ЯВНОПОЛЮСНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

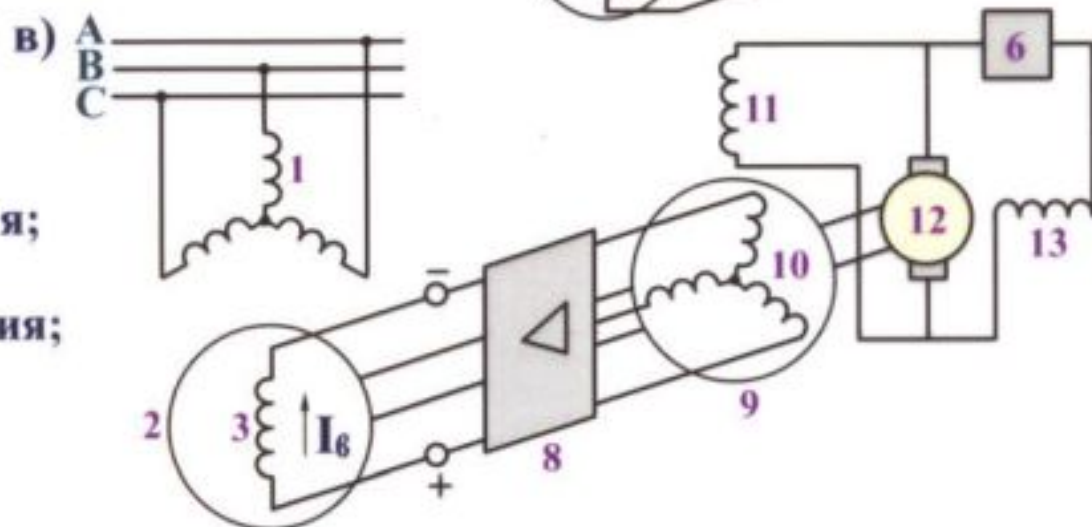
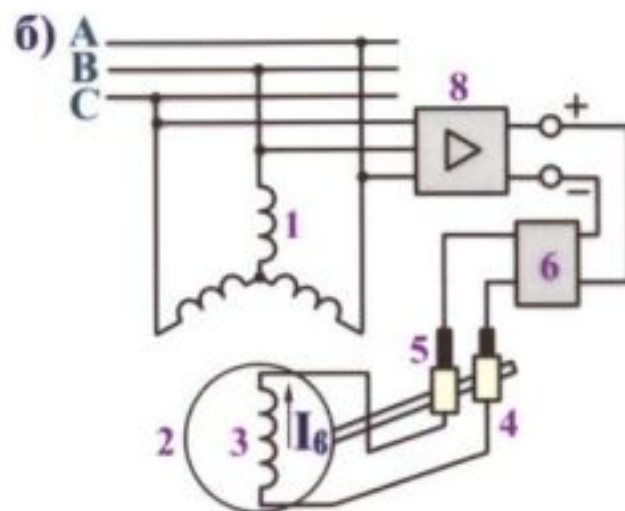
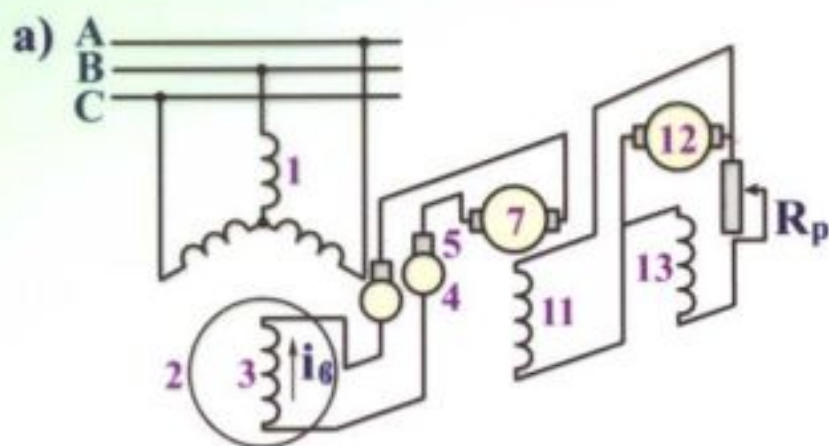


- 1 - корпус;
- 2 - сердечник статора;
- 3 - сердечник полюса;
- 4 - лобовые части обмотки статора;
- 5 - подшипниковый щит;
- 6 - контактные кольца;
- 7 - вал;

- 8 - подшипник;
- 9 - фундаментная плита;
- 10 - кожух контактных колец;
- 11 - токоподвод к обмотке;
- 12 - выводы обмотки статора;
- 13 - стержни пусковой обмотки;
- 14 - сердечник ротора;
- 15 - обмотка полюса.



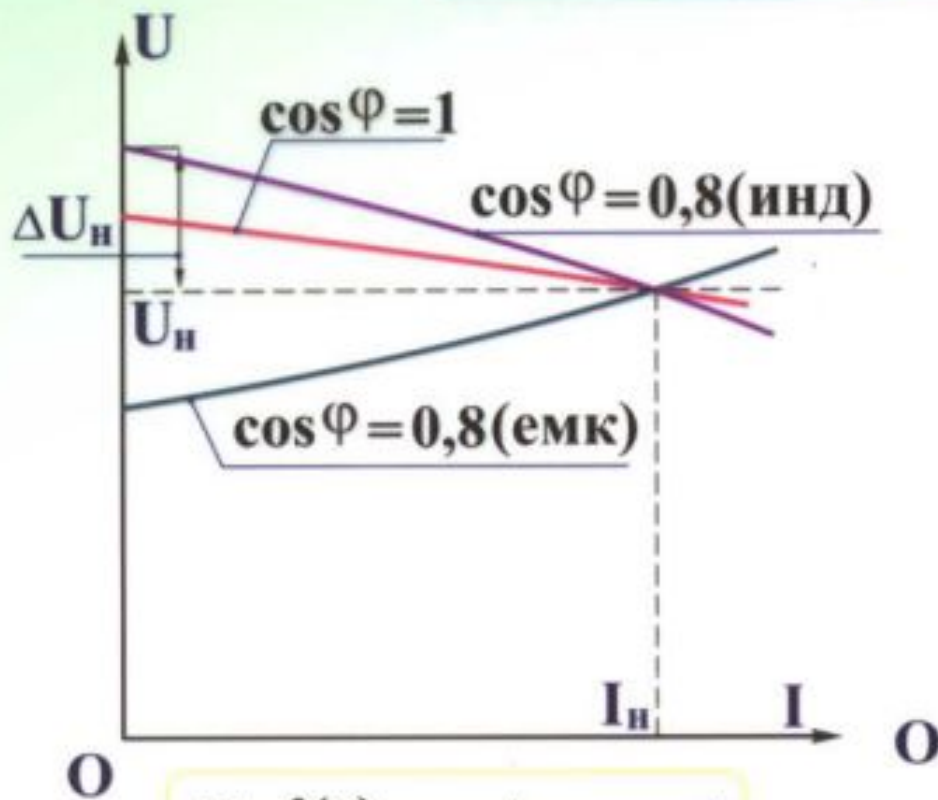
- 1 - контактные кольца;
- 2 - возбудитель;
- 3 - втулка ротора;
- 4 - обод ротора;
- 5 - полюс;
- 6 - верхняя крестовина;
- 7 - обмотка статора;
- 8 - сердечник статора;
- 9 - корпус статора;
- 10 - тормоз-домкрат;
- 11 - нижняя крестовина;
- 12 - масляная ванна подпятника;
- 13 - подпятник;
- 14 - вал;
- 15 - воздухоохладитель.



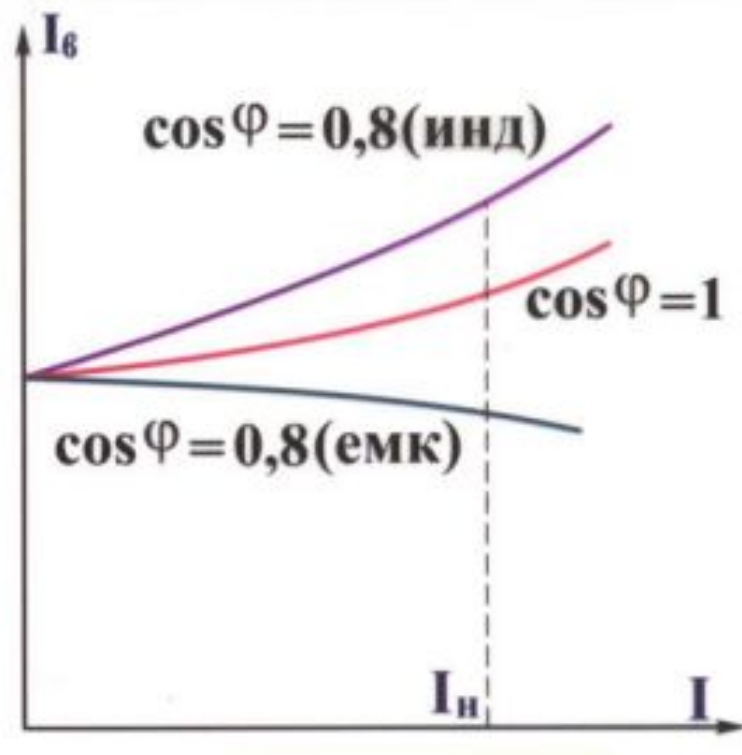
- 1- обмотка якоря;
- 2- ротор генератора;
- 3- обмотка возбуждения;
- 4- кольца; 5- щетки;
- 6- регулятор напряжения;
- 7- возбудитель;
- 8- выпрямитель;
- 9- обмотка якоря возбудителя;
- 10- ротор возбудителя;
- 11- обмотка возбуждения возбудителя;

- 12- подвозбудитель;
- 13- обмотка возбуждения подвозбудителя

ХАРАКТЕРИСТИКИ СГ



$U=f(I)$ при $i_6 = \text{const}$
и $n = \text{const}$

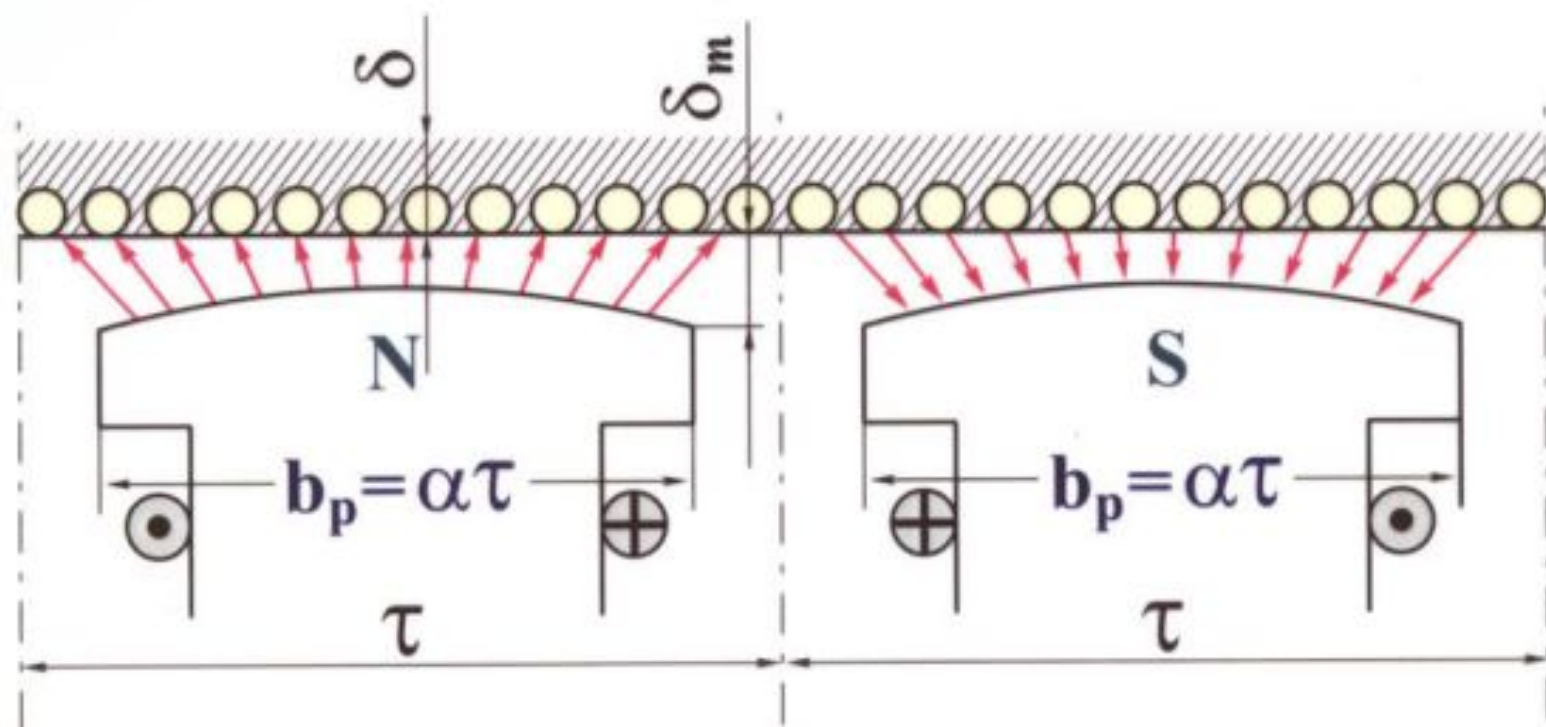


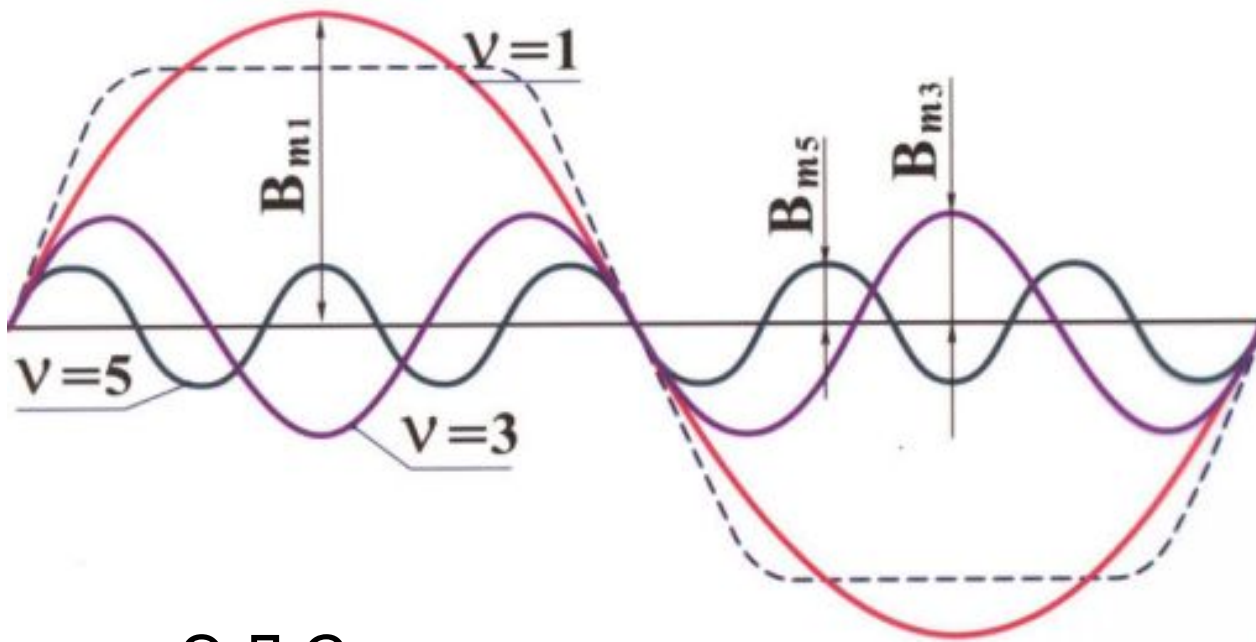
$i_6=f(I)$ при $U = \text{const}$
и $n = \text{const}$

Внешние (а) и регулировочные (б) характеристики СГ

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИЕ СИЛЫ ОБМОТОК
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ЭДС от основной гармоники магнитного поля ($\nu=1$)





Э.Д.С.
ПРОВОДНИК

$$\Phi = B \cdot S =$$

$$B \cdot \tau \cdot l_{\delta}$$

$$e = - d\Phi/dt$$

(закон электромагнитной индукции)

$$E_{np} = E_{mnp} \cdot \sin \omega t;$$

$$E_{mnp} = B_{\delta} \cdot l_{\delta} \cdot \nu, \text{ где } \nu = \frac{\pi D n}{60} \cdot \frac{2p}{2p} = 2\tau \frac{pn}{60} = 2\tau f.$$

При синусоидальном распределении индукции

$$B_{m1} = B_{\delta} = \frac{\pi}{2} B_{cp},$$

где B_{cp} - среднее значение индукции в воздушном зазоре.

Следовательно,

$$E_{mnp} = \frac{\pi}{2} \cdot 2f l_{\delta} \cdot \tau B_{cp} = \pi f_1 \Phi \text{ и}$$

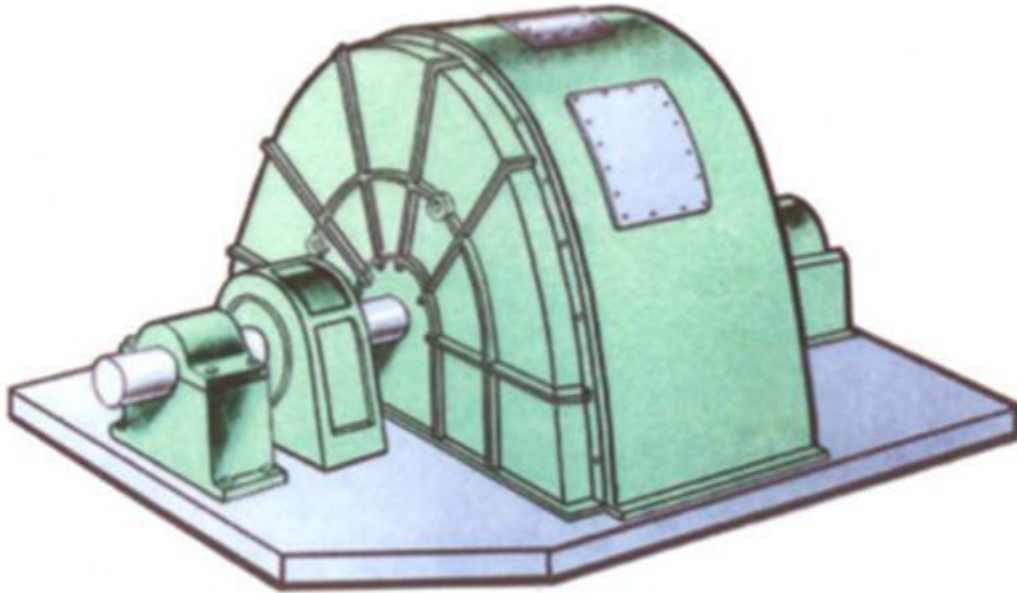
действующее значение ЭДС проводника

$$E_{np} = \frac{E_{mnp}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \Phi = 2,22 f_1 \Phi .$$

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

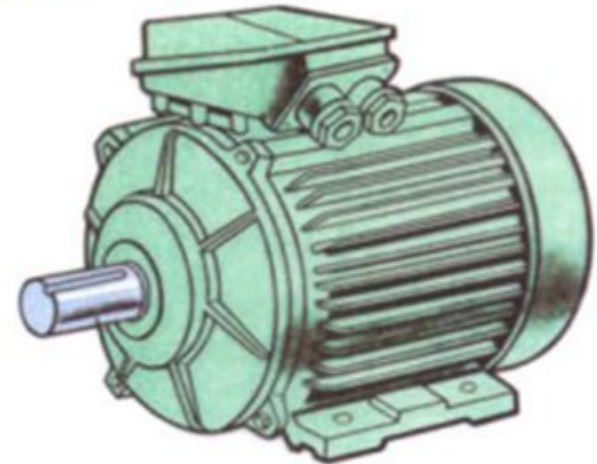
По способу монтажа

ГРУППА IM7



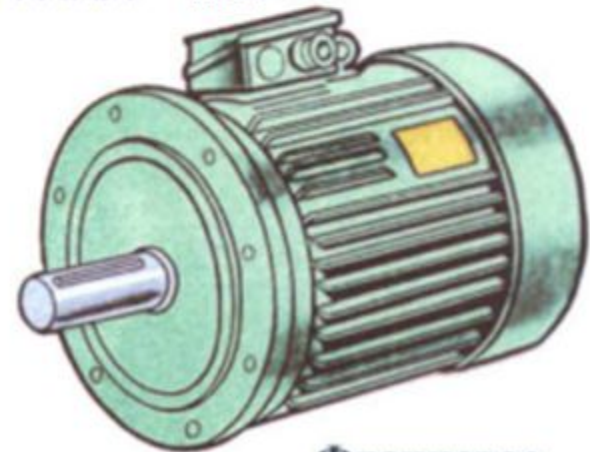
На выносных подшипниковых стойках

ГРУППА IM1



На лапах

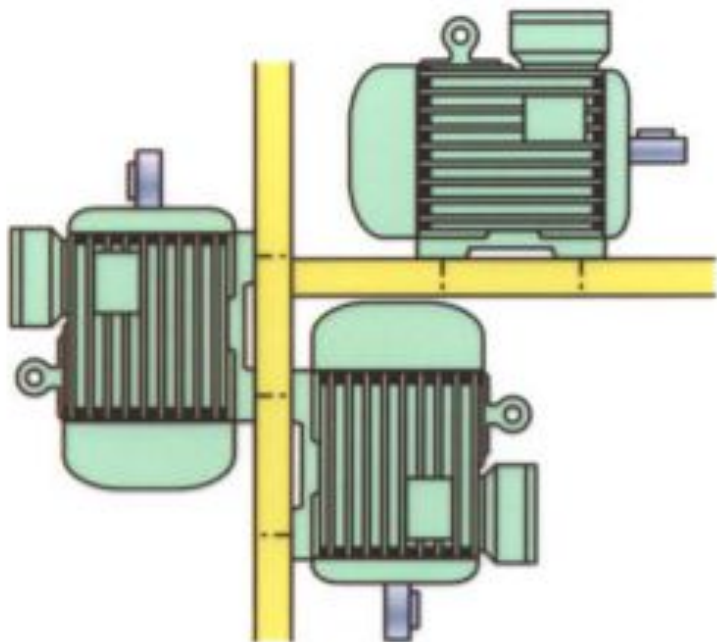
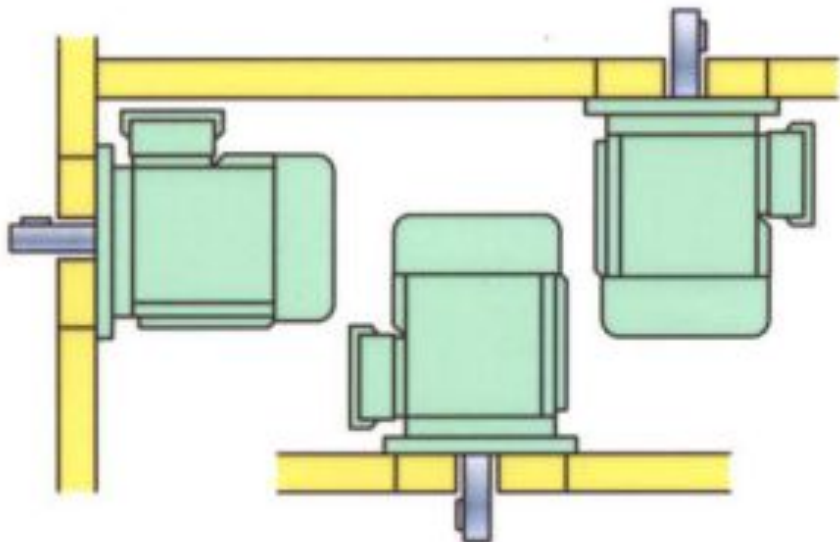
ГРУППА IM3



Фланцевое

IM (International Mounting) –
монтажное
исполнение

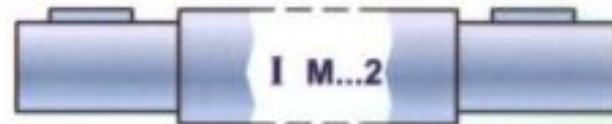
Обозначение способов монтажа



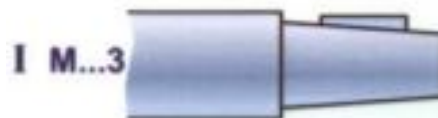
ГОСТ 2479-79 Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения конструктивных исполнений по способу монтажа

Обозначение концов вала

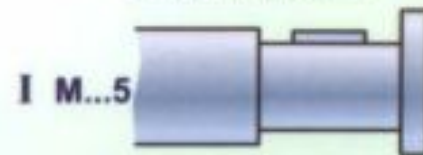
Цилиндрические



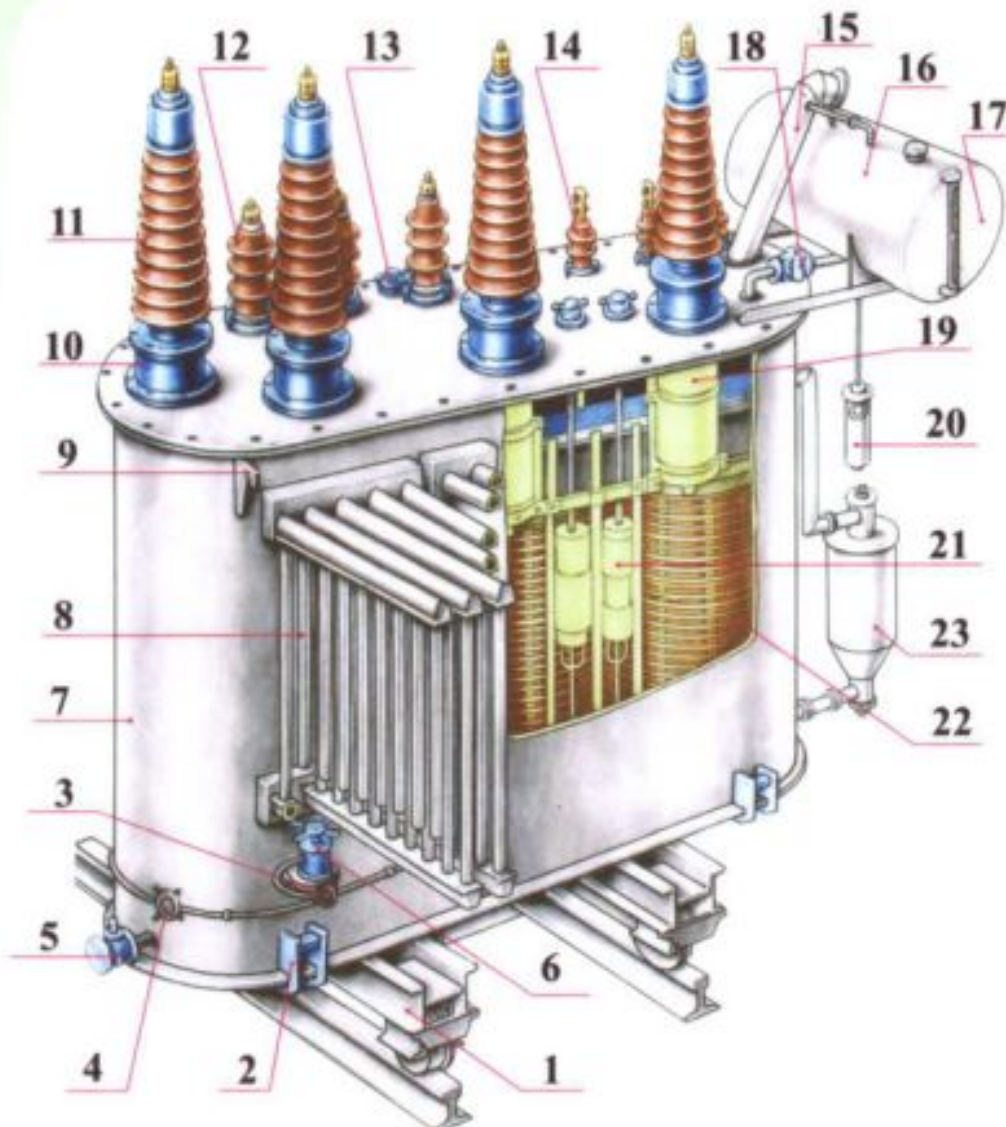
Конические



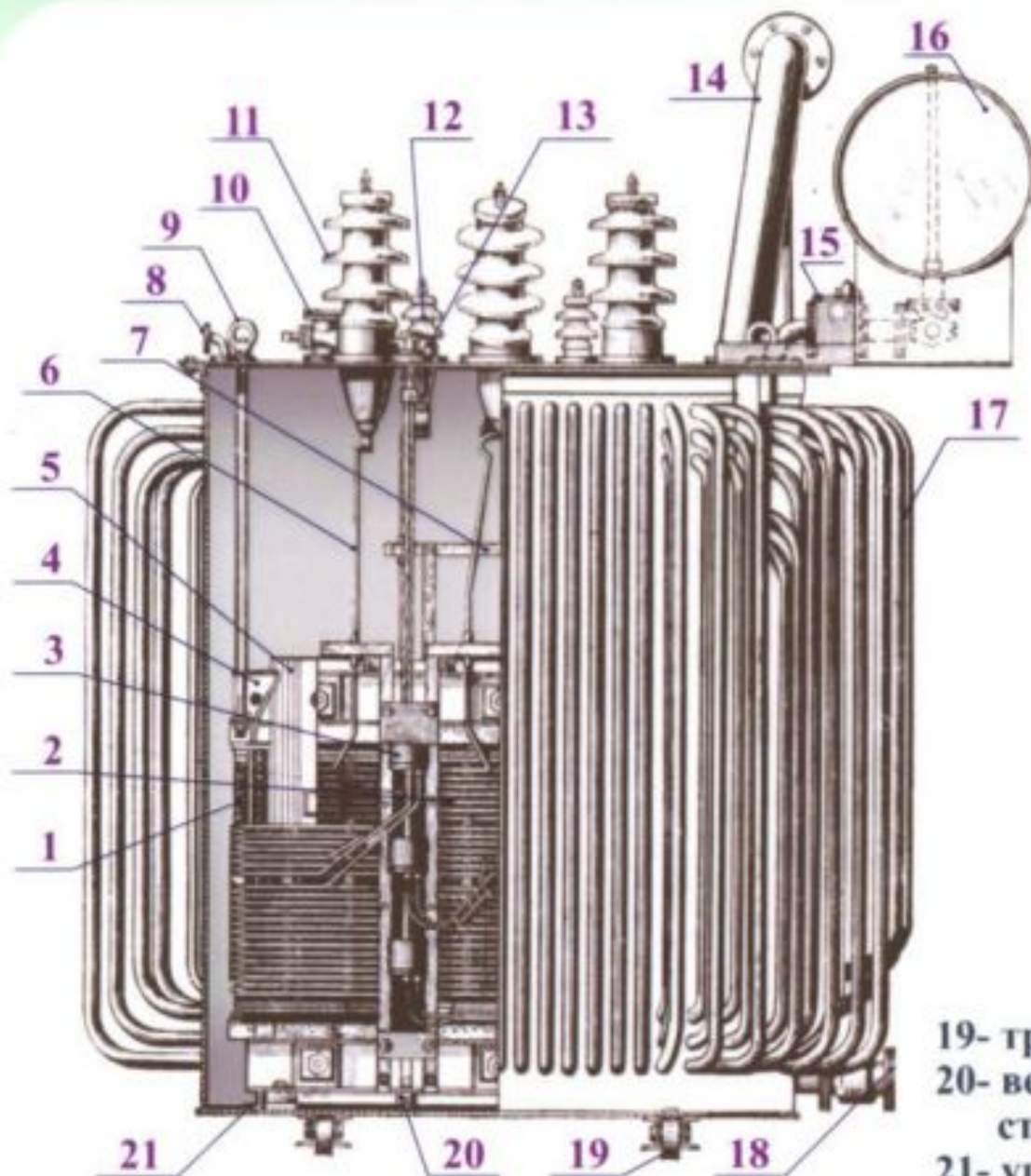
Фланцевые



Трехфазный трехобмоточный трансформатор ТДТГ - 16000/110



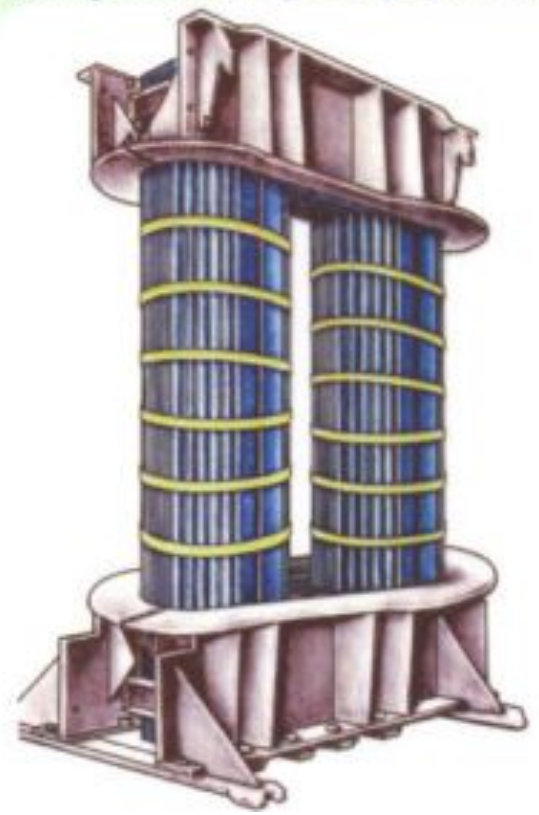
- 1- каретка однокатовая;
- 2- площадка для установки домкрата;
- 3- распределительная коробка;
- 4- кран для слива масла;
- 6- электровентиль;
- 7- бак трансформатора;
- 8- радиатор охлаждения;
- 9- крюк для подъема полностью собранного трансформатора;
- 10- переходный фланец (адаптер) с трансформаторами тока;
- 11- ввод ВН (110 кВ);
- 12- ввод СН (35 кВ);
- 13- привод переключающего устройства;
- 14- ввод НН (10 кВ);
- 15- предохранительная труба
- 16- расширитель;
- 17- маслоуказатель;
- 18- газовое реле;
- 19- бумажно-бакелитовый цилиндр ввода 110 кВ;
- 20- воздухоосушитель;
- 21- переключающее устройство ПБВ;
- 22- обмотка ВН



- 1- обмотка ВН;
- 2- обмотка НН;
- 3- переключатель регулировочных отводов обмотки ВН;
- 4- балка, прессующая ярмо;
- 5- шихтованный магнитопровод;
- 6- отводы ВН;
- 7- отводы НН;
- 8- патрубок для присоединения вакуумного насоса;
- 9- кольцо для подъёма выемной части;
- 10- кран для заливки масла;
- 11- ввод (изолятор) ВН;
- 12- ввод (изолятор) НН;
- 13- привод переключателя;
- 14- выхлопная труба;
- 15- газовое реле;
- 16- расширитель;
- 17- трубчатый бак;
- 18- кран для слива масла.
- 19- транспортный ролик;
- 20- вертикальная шпилька для стягивания прессующих балок ярма;
- 21- упорный угольник на дне бака.

ТРАНСФОРМАТОРЫ

Шихтованный двухрамный магнитопровод однофазного трансформатора

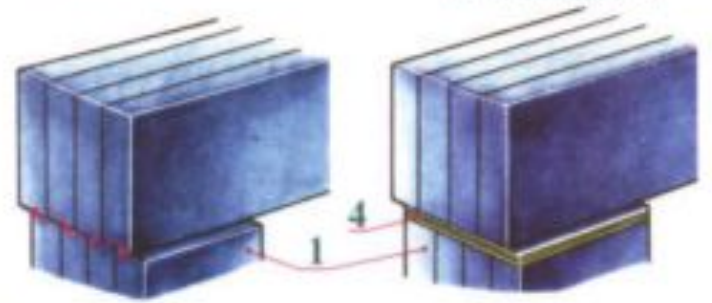


ТИПЫ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

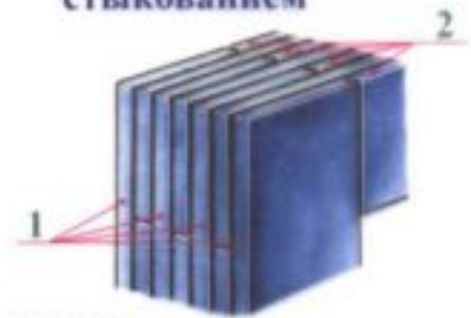
Стыковое соединение стержня и ярма

БЕЗ ПРОКЛАДКИ

С ИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПРОКЛАДКОЙ



Сборка (шихтовка) пластин вперелёт с прямым стыкованием



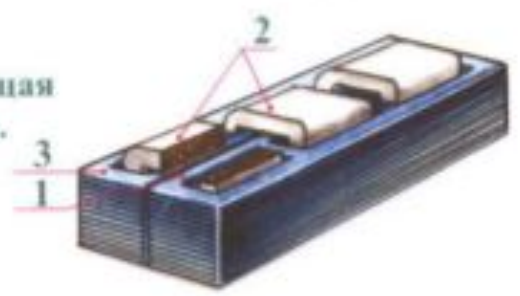
Основные типы конструкций магнитопроводов

СТЕРЖНЕВАЯ



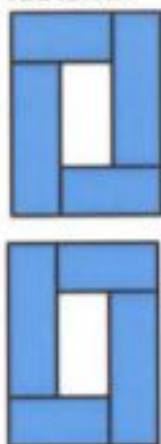
- 1 - стержень;
- 2 - обмотка;
- 3 - ярмо;
- 4 - изолирующая прокладка.

БРОНЕВАЯ



Схемы шихтовки магнитопроводов

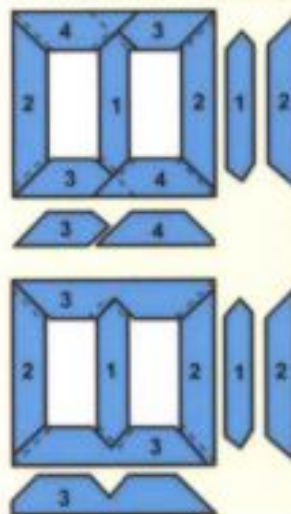
С ПРЯМЫМИ СТЫКАМИ ПЛАСТИН



С КОМБИНИРОВАННЫМИ СТЫКАМИ



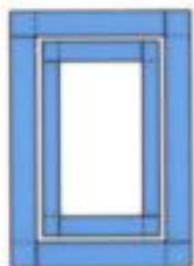
С КОСЫМИ СТЫКАМИ



Направление магнитного потока в углах магнитопровода



Схема двухрамной магнитной системы



Пространственная навитная магнитная система



Пространственная стыковая магнитная система



Трёхфазная плоская магнитная система



Плоские навитные магнитные системы

СТЕРЖНЕВАЯ



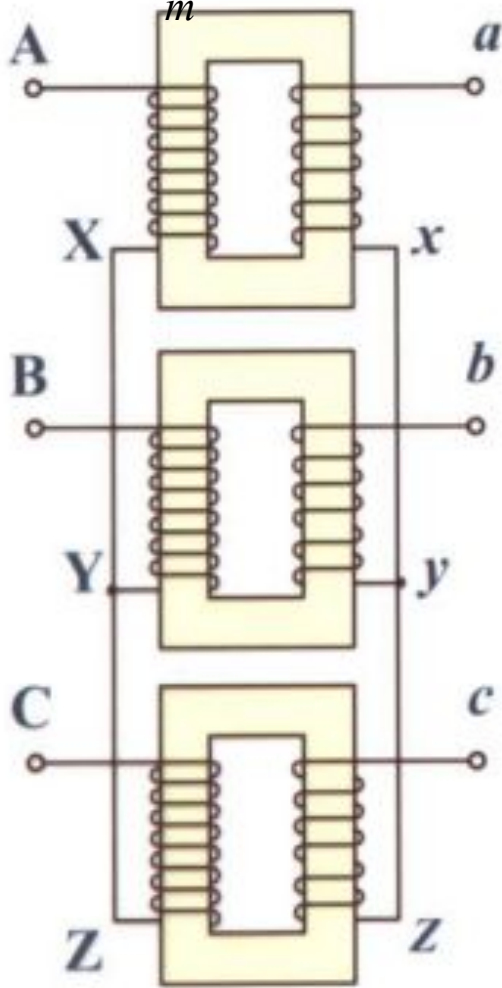
ТОРОИДАЛЬНАЯ



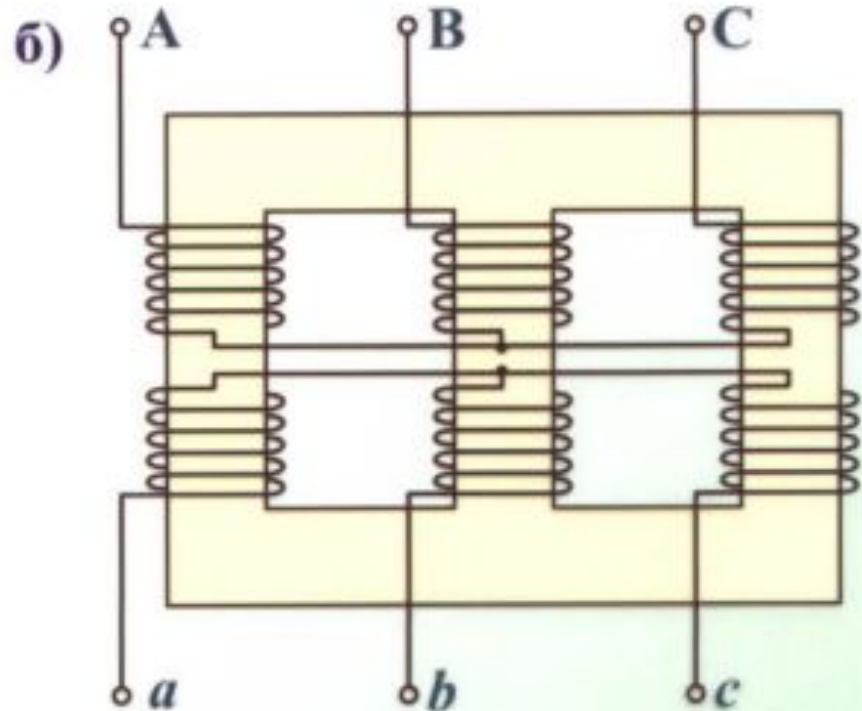
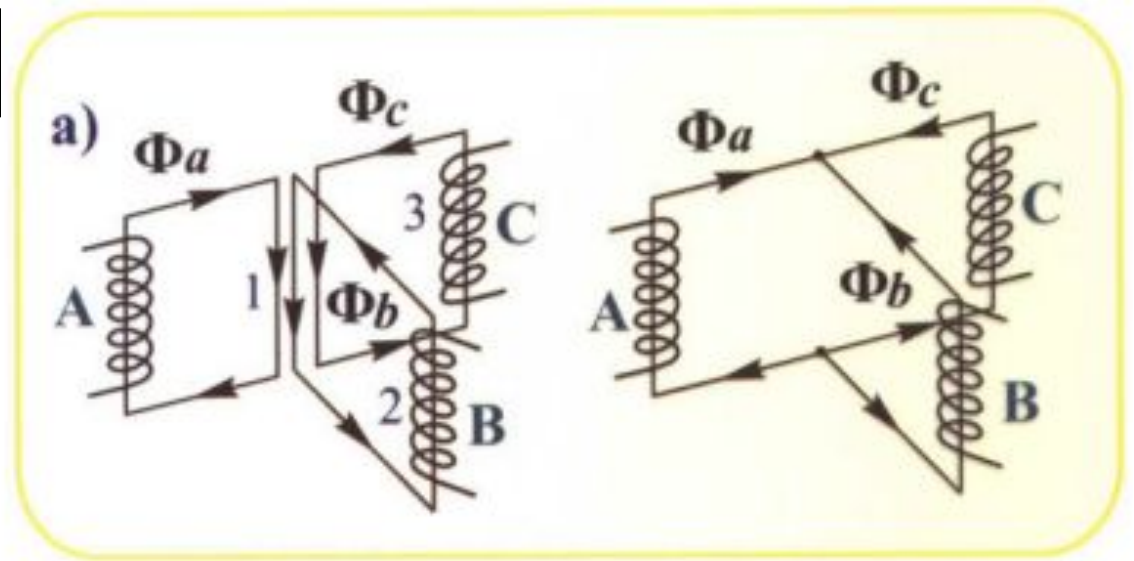
ТРЕХФАЗНАЯ



$$\Phi = F/R_m = w \cdot i$$

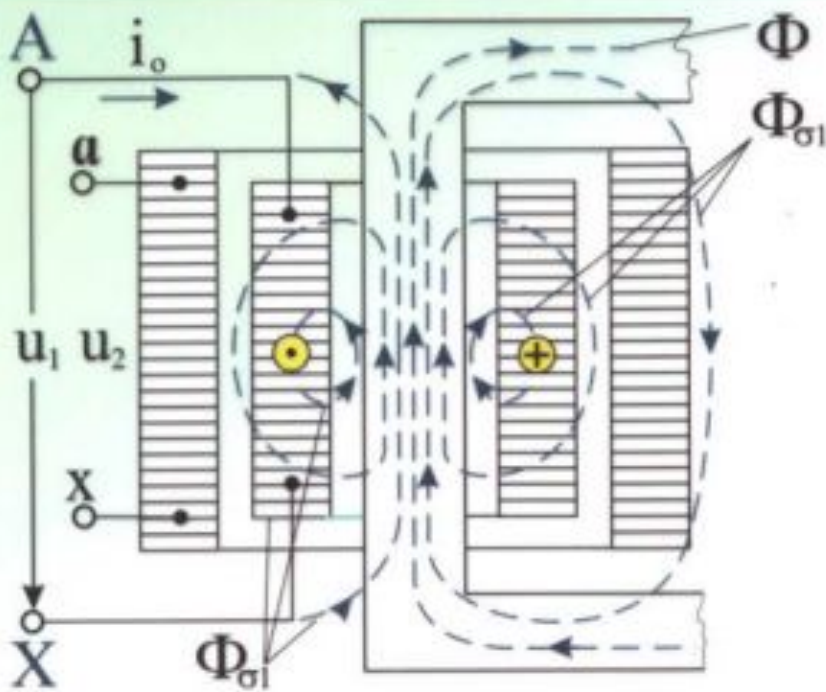
$$/R_m$$


Трёхфазная трансформаторная группа



Принцип образования трёхфазного трёхстержневого трансформатора

ХОЛОСТОЙ ХОД ТРАНСФОРМАТОРА



Картина потоков при холостом ходе

Мгновенное значение Э.Д.
С.:

$$e = -d\Psi/dt = -W \cdot d\Phi/dt$$

$$\Phi = \Phi_{\max}$$

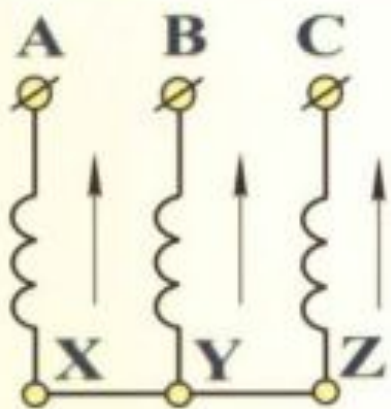
$$\sin(\omega t)$$

Действующее значение Э.Д.
С.:

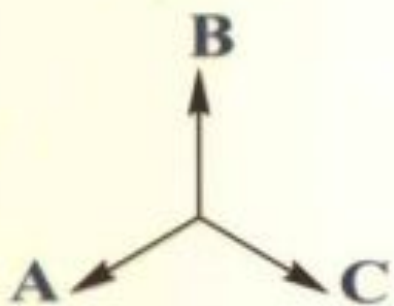
$$E = e/1,414$$

$$I_0 = \frac{E_1}{Z_m} \approx \frac{U_1}{Z_m} \quad Z_m \approx \frac{U_1}{I_0} \quad r_m = \frac{P_{\text{МГ}}}{I_0^2} \approx \frac{P_0}{I_0^2} \quad x_m = \sqrt{Z_m^2 + r_m^2}$$

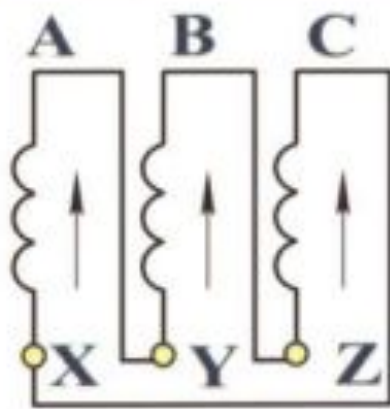
$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_{\max} \quad E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_{\max} \quad k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U}{U_{20}}$$



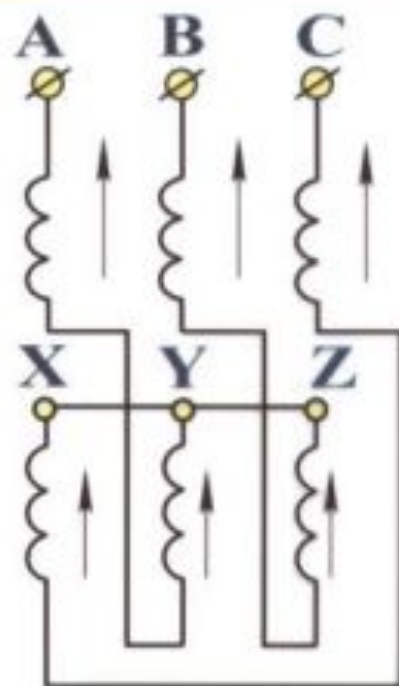
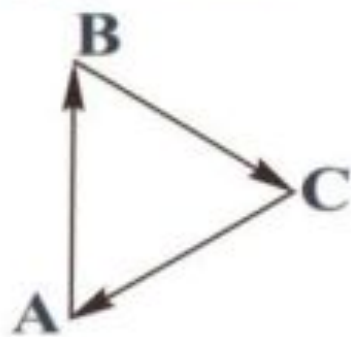
Звезда



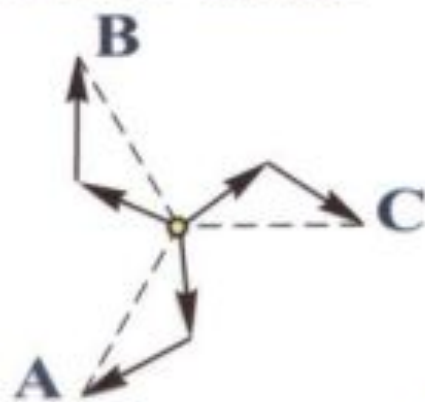
Схемы соединений трёхфазных трансформаторов

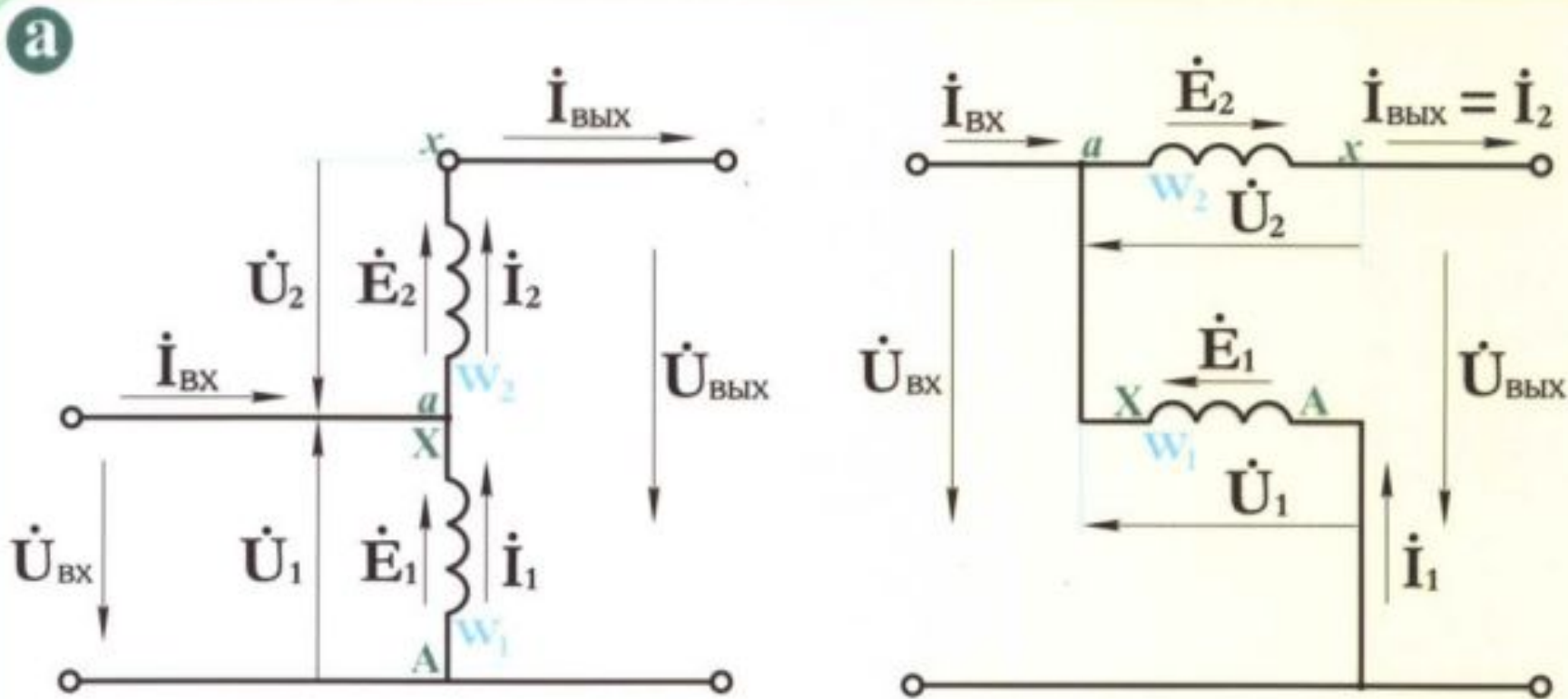


Треугольник



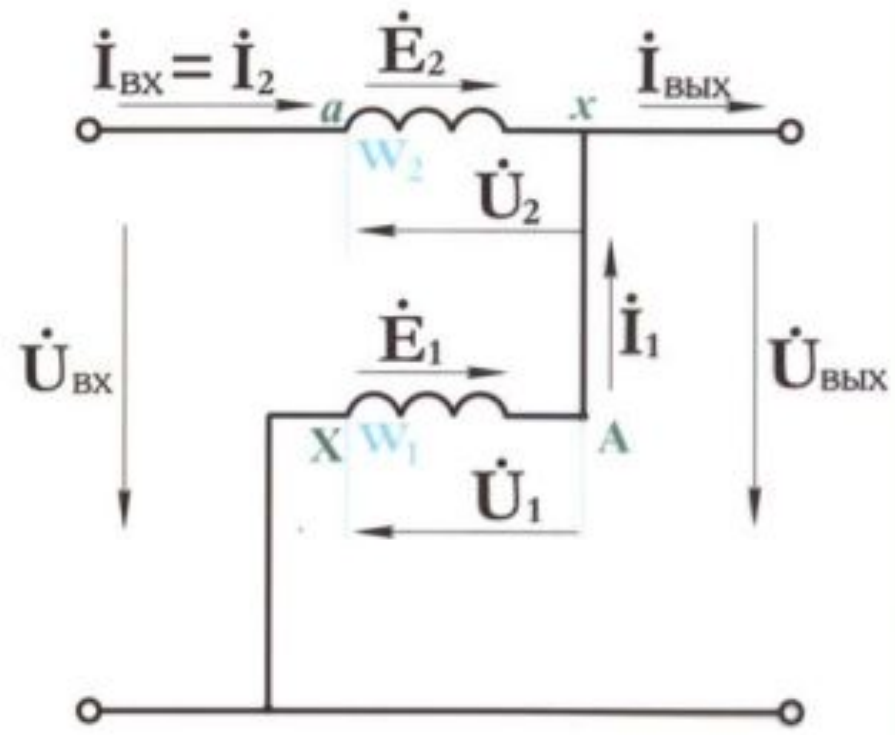
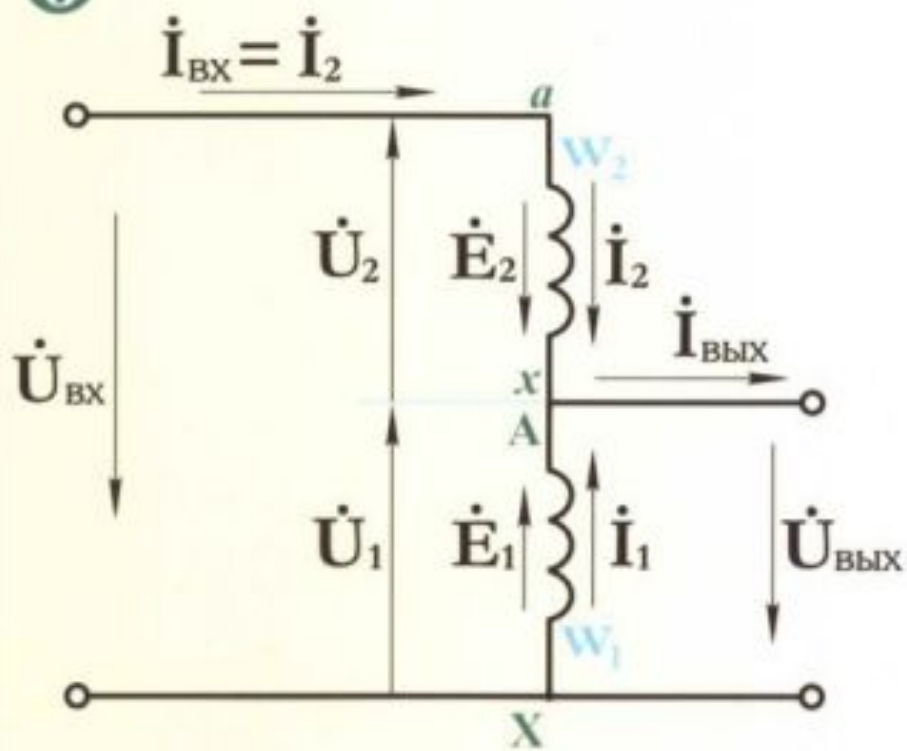
Зигзаг-звезда





Понижающий
автотрансформатор

6



Повышающий автотрансформатор

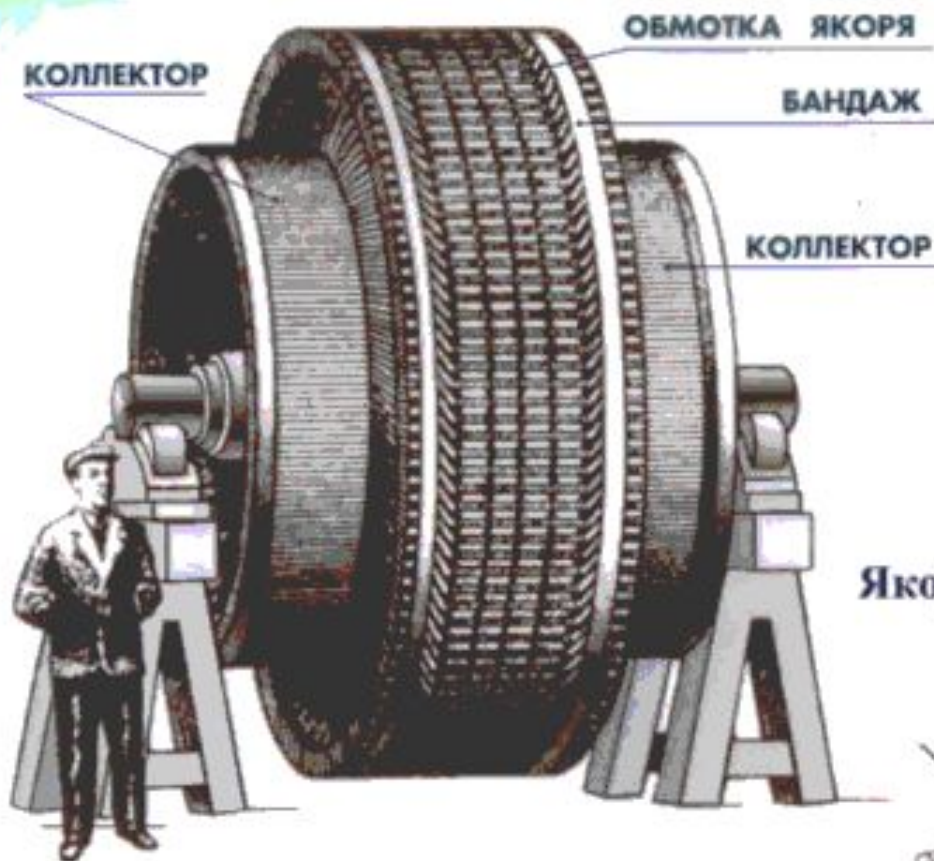
$$K_B = |U_{ВХ} - U_{ВЫХ}| / U_{ВХ}$$

Обычно $K_B = 0,3 - 0,7$

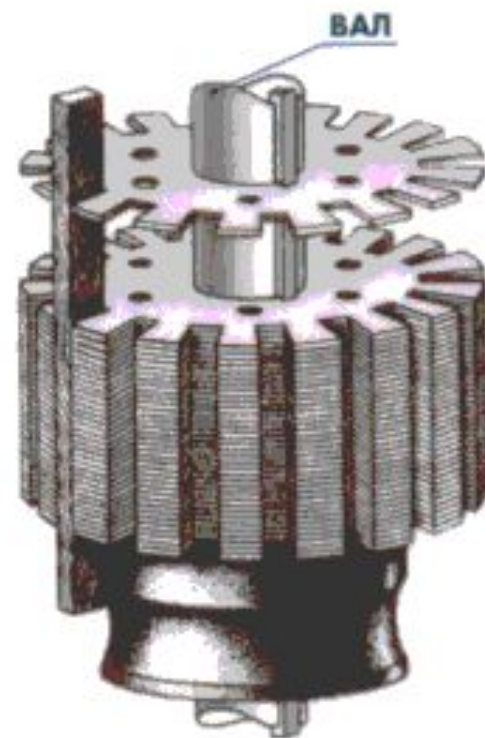
- коэффициент выгоды трансформатора (чем меньше, тем он выгоднее, чем обычный тр.)

ЯКОРЬ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Якорь машины большой мощности

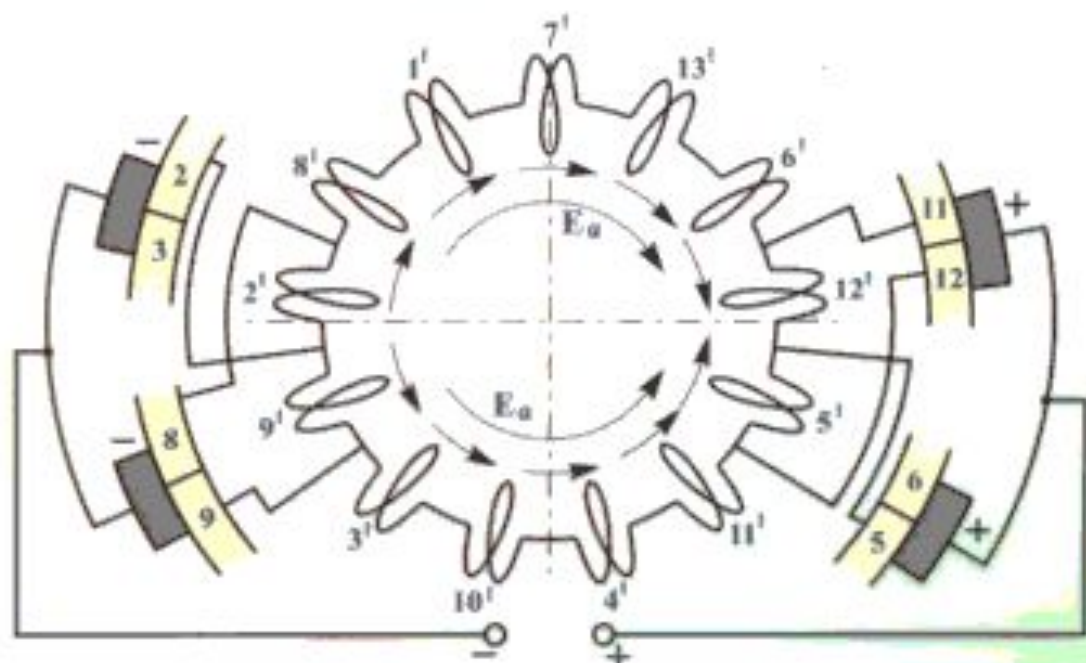
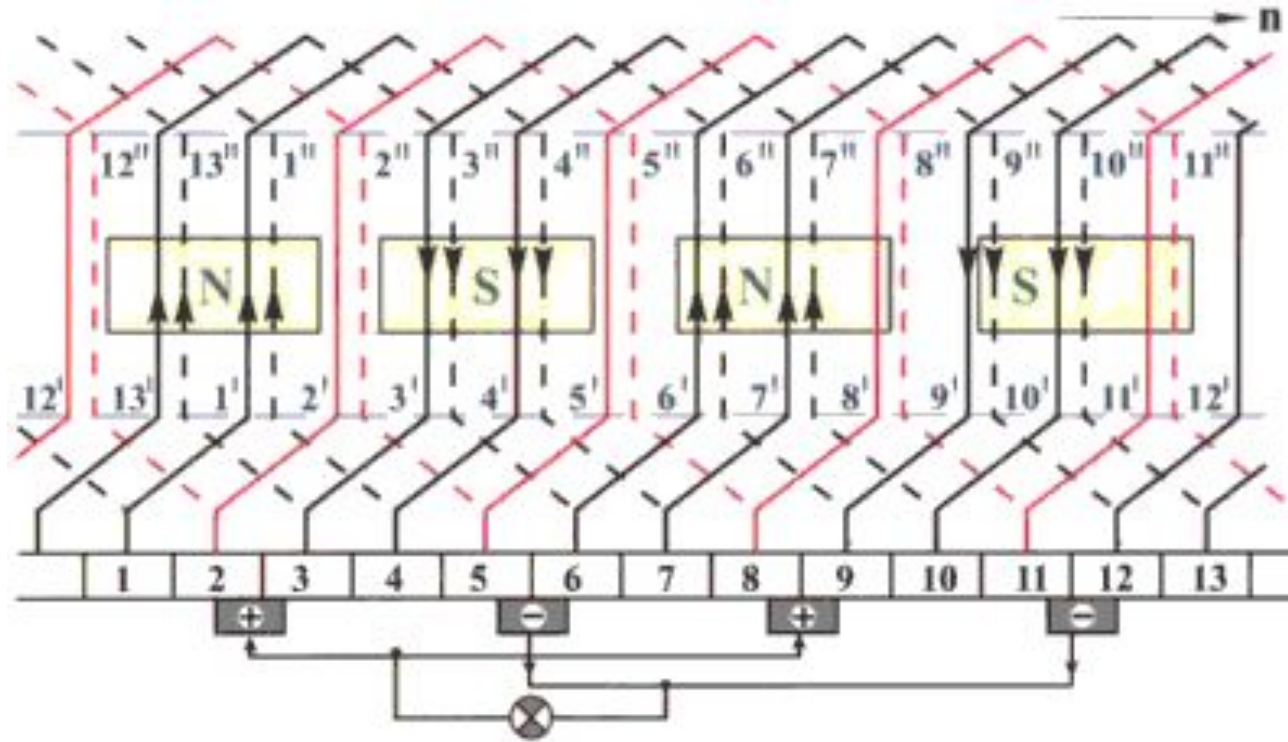


Сборка якоря



Якорь генератора на 0,2 квт





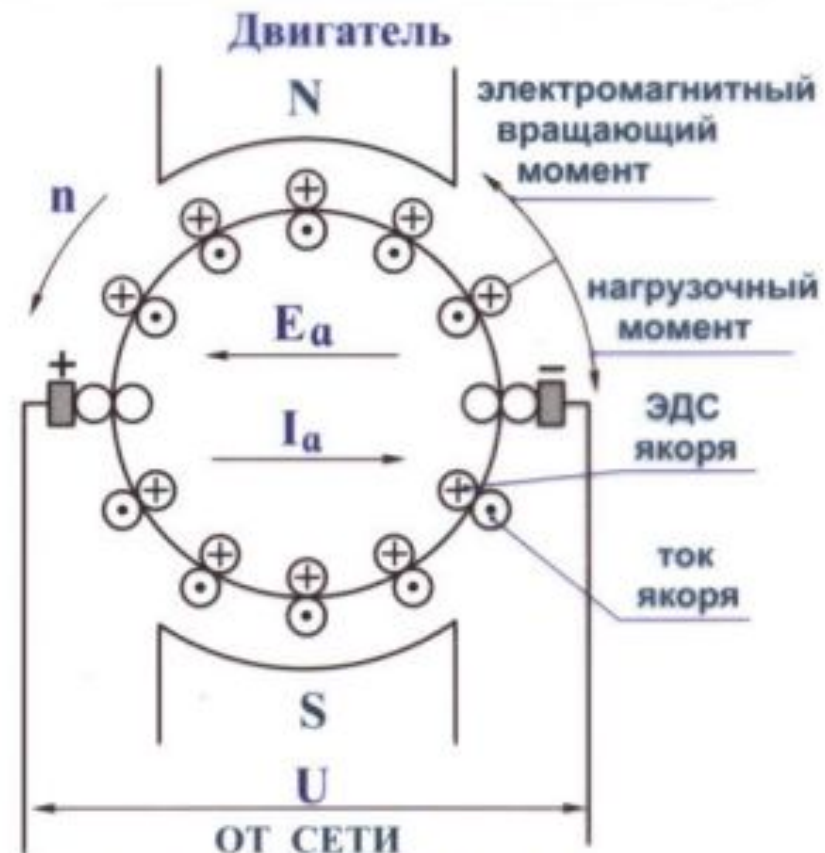
МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ОБРАТИМОСТЬ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА



$$U = E_a - I_a R_a; \quad E > U$$

$$I_a = \frac{E_a - U}{R_a}$$

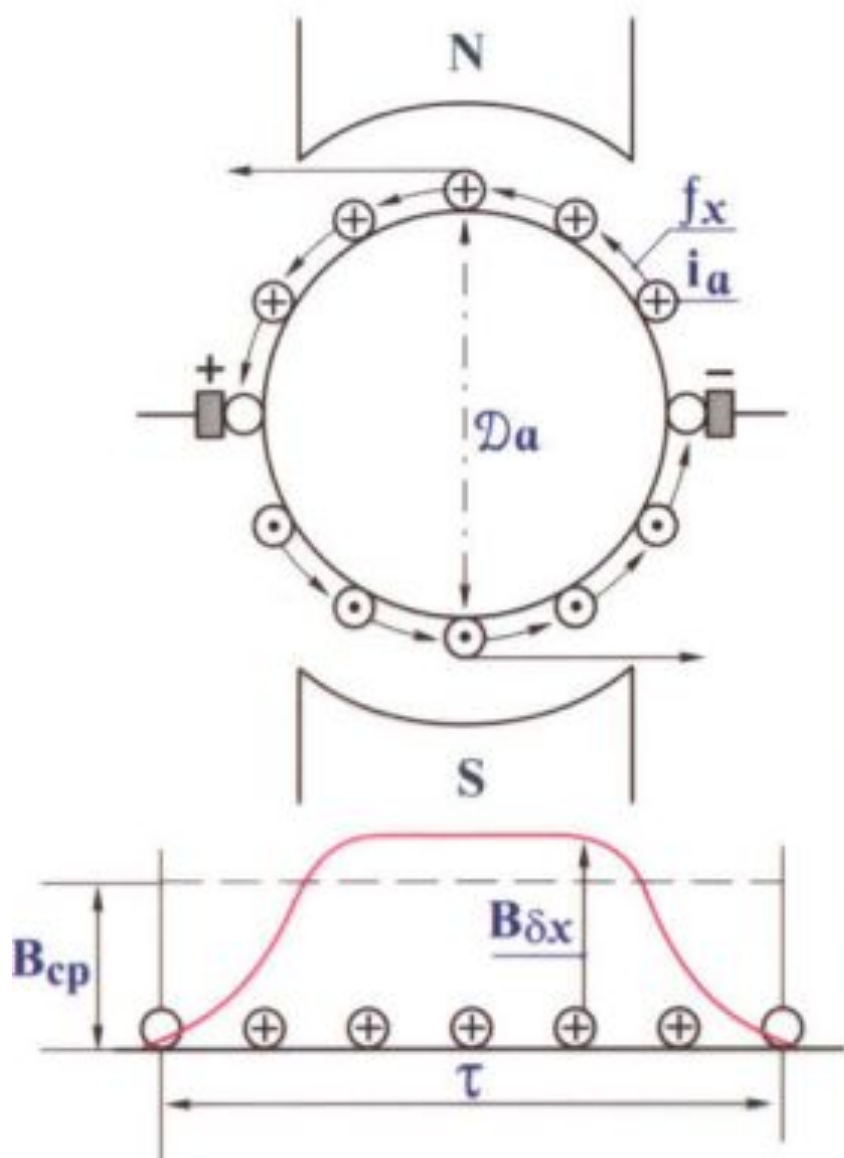


$$E_a = U - I_a R_a; \quad U > E_a$$

$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$$

Электромагнитный момент машины постоянного тока

Электромагнитный момент машины постоянного тока



$$f_x = B_{\delta x} \cdot \ell_{\delta} \cdot i_a = B_{\delta x} \ell_{\delta} \frac{I_a}{2}$$

$$M_x = \frac{D_a}{2} f_x = \frac{D_a}{2} B_{\delta x} \ell_{\delta} \frac{I_a}{2}$$

Число проводников под одним полюсом

$$N^1 = \frac{N}{2\pi}$$

$$M^1 = \sum_1^{N/2p} \frac{D_a}{2} B_{\delta x} \ell_{\delta} \cdot \frac{I_a}{2} = \frac{D_a}{2} \cdot \ell_{\delta} \frac{I_a}{2} \sum_1^{N/2p} B_{\delta x} =$$

$$= \frac{D_a}{2} \ell_{\delta} \frac{I_a}{2a} \cdot \frac{N}{2p} B_{cp}, \text{ где } B_{cp} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} B_{\delta x} dx.$$

$$M = 2p \frac{D_a}{2} \ell_{\delta} \frac{I_a}{2a} \cdot \frac{N}{2p} B_{cp} = \frac{Np}{2\pi a} \cdot \frac{\pi D_a}{2p} B_{cp} \ell_{\delta} I_a =$$

$$= \frac{N}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} B_{cp} \tau \ell_{\delta} I_a = \frac{N}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} \Phi_{\delta} I_a.$$

$$M = C_m \Phi_{\delta} I_a, \text{ где } C_m = \frac{N}{2\pi} \cdot \frac{p}{a}$$

Рекомендуемая литература

1. Токарев Б.Ф. Электрические машины.
2. Нестерин В.А., Ваткин В.А.
Электромеханика: конспект лекций в 3-х томах.
3. Вольдек А.И. Электрические машины.
4. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов.
5. Проектирование электрических машин / под ред. И.П. Копылова.

Презентация составлена в образовательных целях для студентов ФЭиЭТ ЧГУ им. И.Н. Ульянова.
Составитель: асс. А.Н. Матюнин.

Источник информации:
плакаты и схемы «Электрические машины» РНПО Росучприбор, Уральский государственный университет:

