

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ЭНЕРГЕТИКИ**

**Комплекс презентаций
лекционного курса:**

**«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
МАШИНЫ»»**

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины - это электромеханические устройства, предназначенные для преобразования одного вида энергии в другой вид энергии, а так же для преобразования частоты и числа фаз одного рода тока в другой.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ КЛАССИФИЦИРУЮТ:

По назначению

- ▣ электродвигатели
- ▣ генераторы
- ▣ преобразователи

По роду тока

■ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- ▣ с параллельным возбуждением
- ▣ с последовательным возбуждением
- ▣ со смешанным возбуждением

■ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- ▣ синхронные
 - с явнополюсным ротором
 - с неявнополюсным ротором
- ▣ асинхронные
 - с фазным ротором
 - с короткозамкнутым ротором

ТРАНСФОРМАТОРЫ

СОДЕРЖАНИЕ

Устройство трансформаторов.

Электротехнические материалы для трансформаторов, конструкция

Классификация трансформаторов.

Принцип действия трансформатора

Схема замещения и основные уравнения

Опыт холостого хода

Опыт короткого замыкания

Устройство и работа трехфазного трансформатора

Группы соединения

Характеристики трансформаторов

Параллельная работа трансформаторов

Автотрансформаторы

Сварочные трансформаторы

Испытательные трансформаторы

Выпрямительные трансформаторы

Преобразователи частоты

Трансформаторы числа фаз

Сверхпроводящие индуктивные накопители

Регулирование напряжения силовых трансформаторов.



<http://avtotransformator.ru/>

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Активные материалы:

Электропроводящие.

Наиболее широко в качестве проводников в электромашиностроении применяется медь с примесями не более 0,1%. Ее свойства: уд. сопротивление $0,017241 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ при 20°C , уд. вес $8,9 \text{ г}/\text{см}^3$, коэф. лин. расширения $1,68\cdot 10^{-5}$, уд. теплоемкость $390 \text{ Вт}\cdot\text{с}/\text{град}$ и уд. теплопроводность $3,75 \text{ Вт}/\text{град}\cdot\text{см}$.

Также нашел значительное применение алюминий. Его свойства: уд. сопротивление $0,0282 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ при 20°C , уд. вес $2,64 \text{ г}/\text{см}^3$, коэф. лин. расширения $2,22\cdot 10^{-5}$, уд. теплоемкость $810 \text{ Вт}\cdot\text{с}/\text{град}$ и уд. теплопроводность $2 \text{ Вт}/\text{град}\cdot\text{см}$.

Уд. сопротивление алюминия от температуры меняется значительно.

Применяются также серебро, золото вольфрам, железо

МАГНИТНЫЕ

Для изготовления частей магнитопровода применяются:

электротехническая сталь разных сортов (38 марок), листовая и кованая сталь, специальные стальные сплавы (для пост. магнитов). Важнейшими свойствами этих материалов являются: зависимость магнитной индукции от напряженности поля и зависимость потерь на гистерезис и вихревые токи от индукции и частоты. Важными также являются механические свойства.

По структуре и виду прокатки эл тех стали бывают:

горячекатанная изотропная (1212, 1213, 1411 ...),
холоднокатанная изотропная (2011, 2012, 2111,...)
холоднокатанная анизотропная (3411, 3412, 3413,...).

По содержанию кремния - 6 групп

По виду покрытия: Т - травленая, НТ - нетравленая поверхность,
ЭТ-электроизоляционное покрытие нагревостойкое и т.д.

Толщина 0,28, 0,3, 0,35, 0,5, 0,65 мм.

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ

- Y (90° C) текстильные материалы, бумаги
- A (105° C) то же, пропитанное лаками и компаундами на основе натуральных масел
- E (120° C) пленки и волокна из полиэтилентерефталата, стеклоткани и эпоксидные компаунды
- B (130° C) щипаная слюда, стеклоткани, асбестовые материалы, асбоцемент, слоистые пластики
- F (155° C) слюда асбестовая изоляция
- H (180° C) кремнеорганические материалы, асбестовая пряжа
- C (более ° C) стекло, слюда, керамика, кварц, микалекс, полиамиды.

На такие же классы нагревостойкости делятся пропитывающие составы, покровные эмали и компаунды.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве таких материалов применяются: чугун, сталь, цветные металлы и их сплавы и пластмассы.

Они должны обеспечить механическую прочность конструкции.

Она характеризуется :

- Временным сопротивлением
- Пределом текучести
- Пределом усталости
- Процентным удлинением
- Ударной пробой

При разработке конструкций обычно расчетные напряжения сравнивают с предельными напряжениями для данной конструкции.

КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ

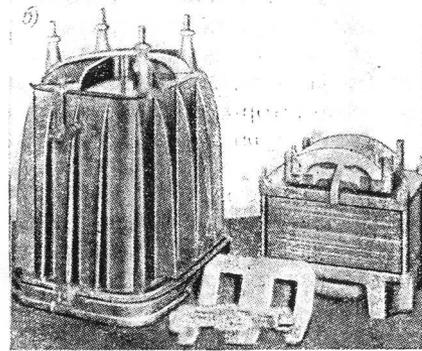
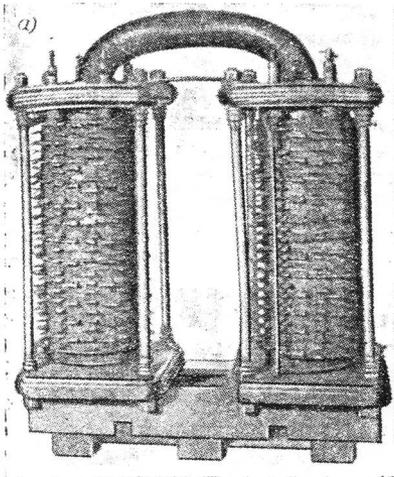
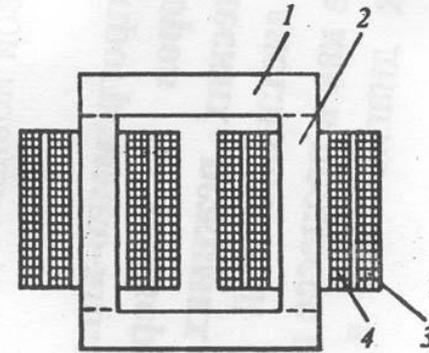
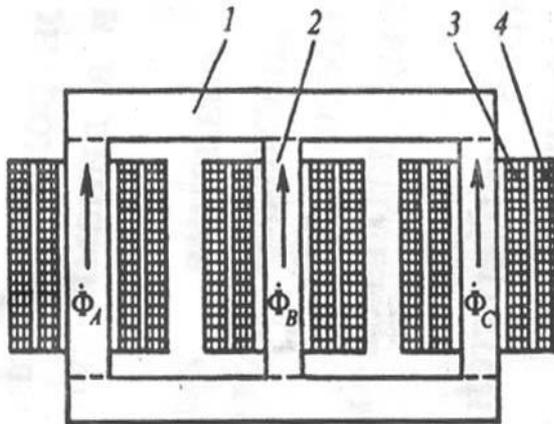


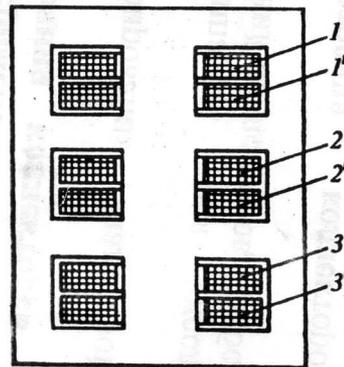
Рис. В-12. Первый технический трансформатор с замкнутой магнитной цепью:
a — стержневого типа; *b* — броневое типа.



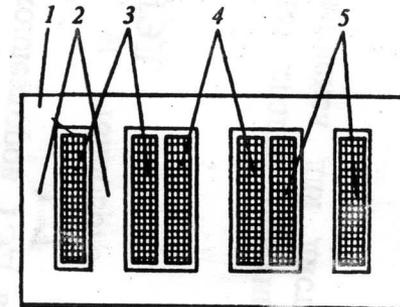
Однофазный трансформатор стержневой конструкции



Трехфазный трансформатор стержневой конструкции



Броневой трехфазный трансформатор:
 1, 2, 3 — обмотки низшего напряжения фаз А, В, С; 1', 2', 3' — обмотки высшего напряжения фаз А, В, С



Трехфазный бронестержневой трансформатор.
 1 — ярма; 2 — стержни; 3, 4, 5 — обмотки фаз низшего и высшего напряжений А, В, С

КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

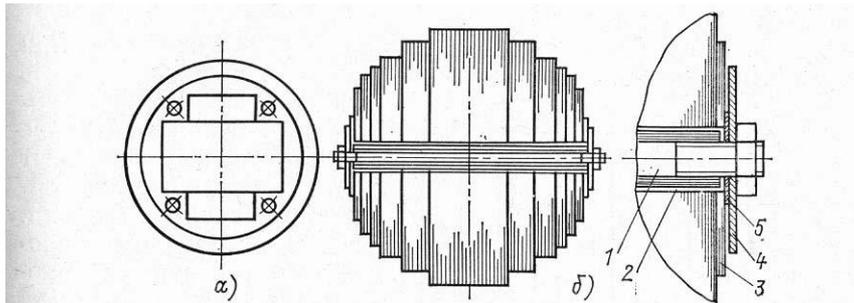


Рис. 1-10. Стяжка стержней.

a — с помощью деревянных планок; *b* — с помощью стальных шпилек (1 — стальная шпилька; 2 — трубка изоляционная; 3 и 5 — шайбы из электроизоляционного картона; 4 — стальная шайба).

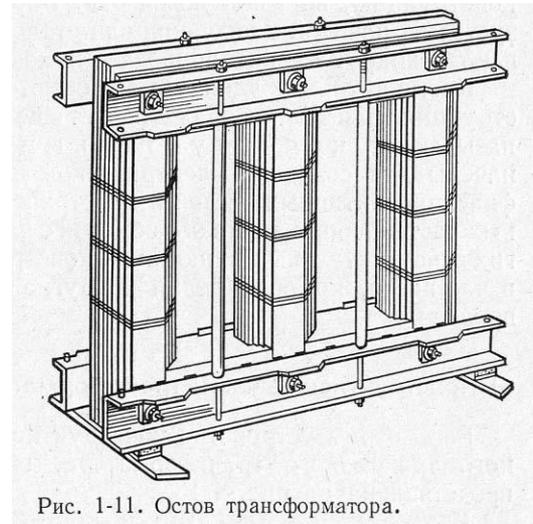
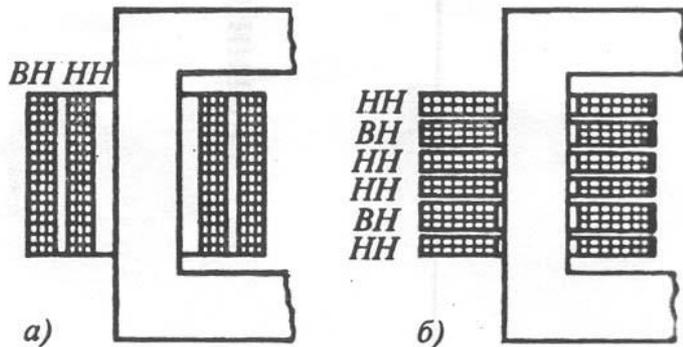


Рис. 1-11. Остов трансформатора.



Типы обмоток:

a) концентрические; *b*) дисковые или чередующиеся
HH — обмотки низкого напряжения; **BH** — обмотки высокого напряжения

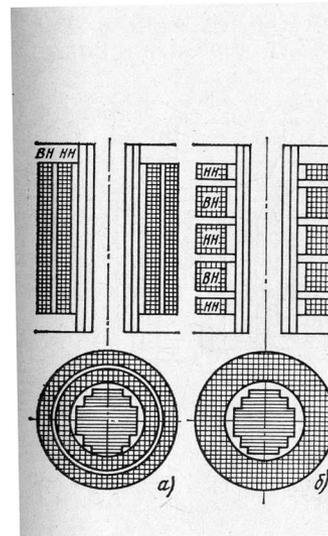
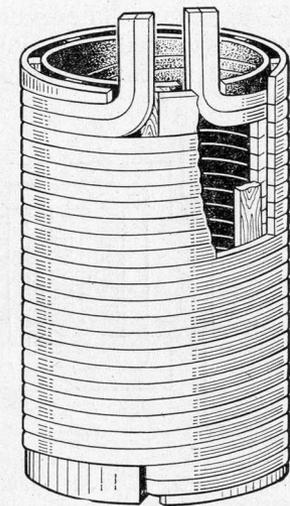
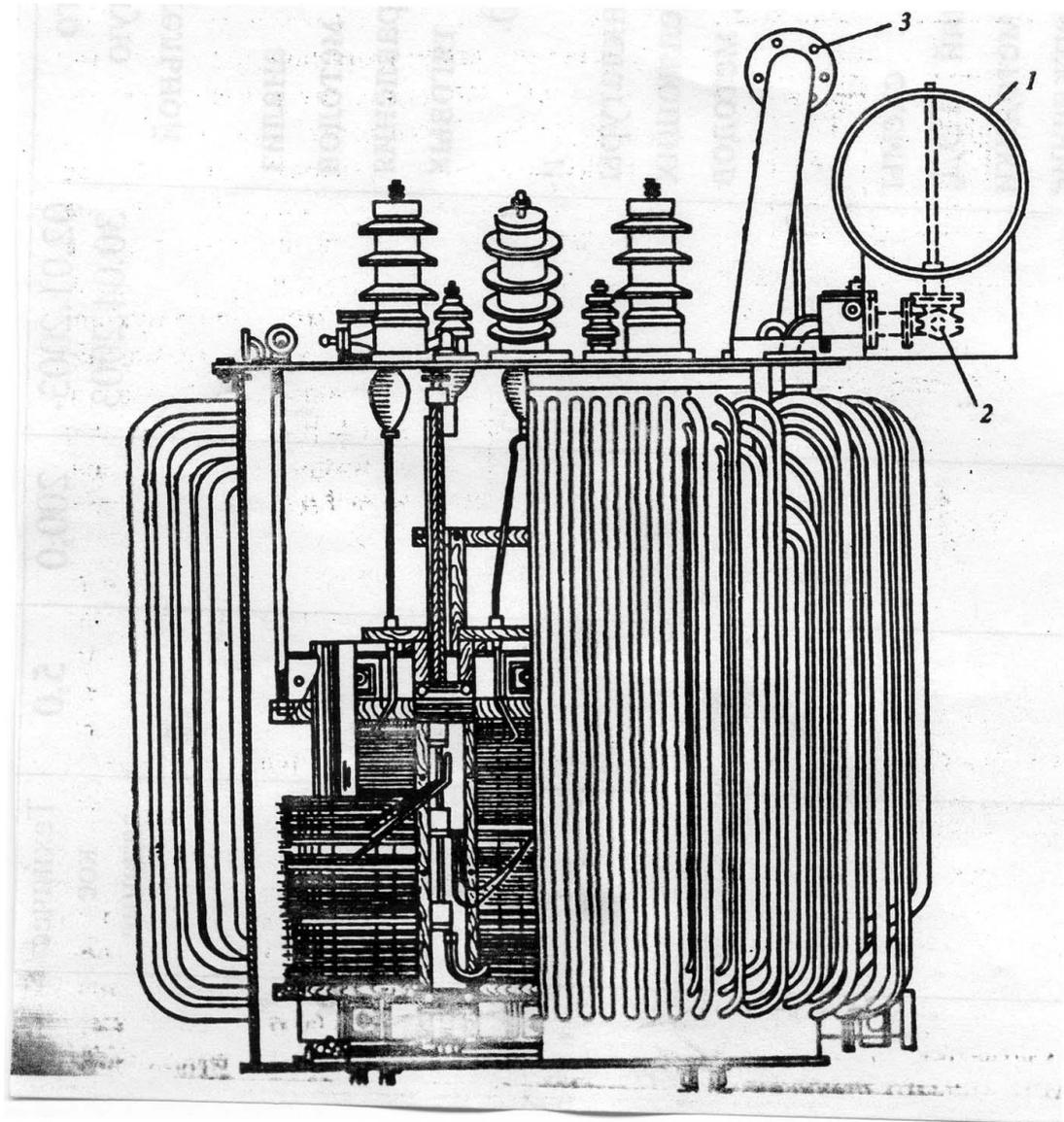
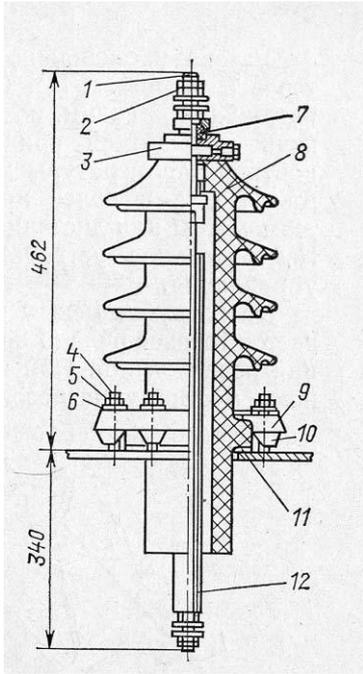


Рис. 1-4. Концентрические (*a*) и дисковые чередующиеся (*b*) обмотки.

Рис. 1-5. Цилиндрическая двухслойная обмотка из прямоугольного провода.



КОНСТРУКЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРА



КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. Силовые
2. Автотрансформаторы
3. Выпрямительные
4. Испытательные
5. Спецназначения (печные, сварочные)
6. Измерительные (тока и напряжения)
7. Радиотрансформаторы

ПАСПОРТНАЯ ТАБЛИЧКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА
СОДЕРЖИТ СВЕДЕНИЯ:

Номинальная полная мощность S_n , кВА,

Номинальное первичное линейное напряжение $U_{л1н}$, В
или кВ,

Номинальное вторичное линейное напряжение $U_{л2н}$, В
или кВ,

Номинальные линейные токи $I_{л1н}$ и $I_{л2н}$, А или кА,

Номинальная частота f , гЦ,

Число фаз,

Схема и группа соединения обмоток,

Ток холостого хода $I_{хх}$ %,

Напряжение короткого замыкания $U_{кз}$ %,

Режим работы,

Способ охлаждения

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Повышающие (на станциях) - 110, 150, 220, 330, 500, 750 и 1150 кВ.

Понижающие (у потребителя) - 35, 10, 6, 3, 0,66, 0,38, 0,22 кВ.

Двухобмоточные, многообмоточные.

Сухие и масляные.

На силовые трансформаторы имеют заводскую гарантию 25 лет

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА И ЕГО ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

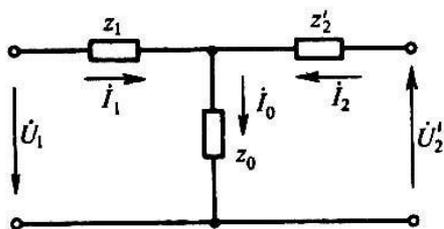
Мощность, подводимая к первичной обмотке трансформатора:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

Мощность, отдаваемая в нагрузку:

$$P_2 = U'_2 I'_2 \cos \varphi_2$$

При этом $P_2 < P_1$, т.к. часть мощности расходуется на потери.



Т-образная схема замещения трансформатора

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1,$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 z'_2;$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2.$$

ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА

P_{xx} - это потери в стали магнитопровода.

Ток холостого хода составляет 0,4...10%

Параметры схемы замещения: $P_{xx} = ml^2_x r_0$, $z_0 = U_x / I_x$, $r_0 = P_{xx} / (ml^2_x)$, $x_0 = \sqrt{(z_0^2 - r_0^2)}$

r_0 и x_0 много больше r_1 и x_1 и определяются намагничивающим контуром

Из опыта xx определяется коэффициент трансформации $K = U_1 / U_2$

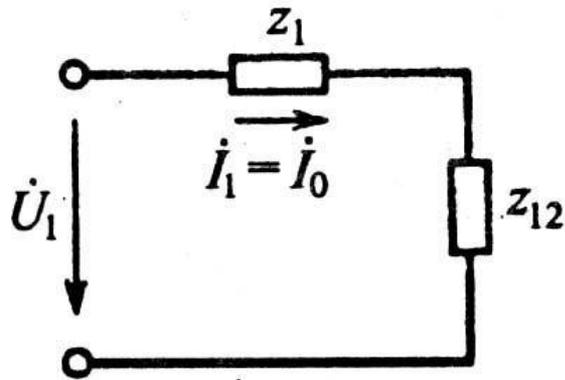


Схема замещения трансформатора при холостом ходе

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1;$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2;$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1.$$

ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Проводится при пониженном напряжении на первичной обмотке

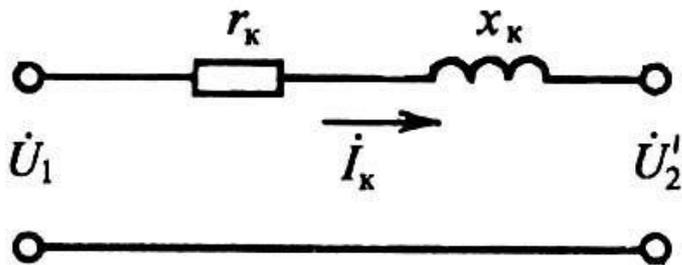
Потери при кз P_k - это потери в меди.

Параметры схемы замещения из опыта кз:

$$\cos\varphi_k = \frac{P_k}{mU_k I_k};$$

$$z_k = \frac{U_k}{I_k}; \quad r_k = z_k \cos\varphi_k; \quad x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}.$$

Напряжение кз u_k - это напряжение при котором в опыте кз в обмотках трансформатора протекают номинальные токи. Чем больше u_k , тем меньше габариты трансформатора, выше потери в меди и ниже КПД. На параллельную работу включаются тр-ры с одинаковыми u_k .



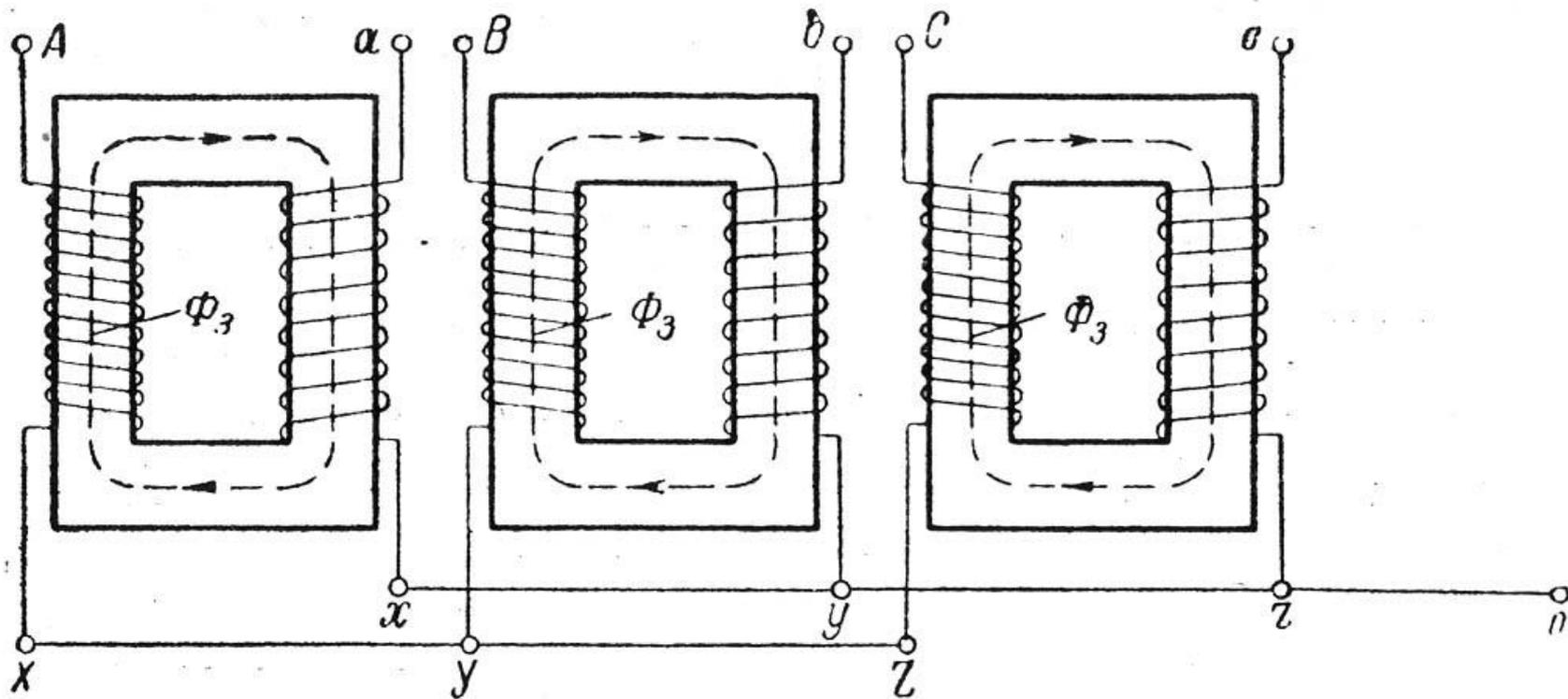
Упрощенная схема замещения трансформатора

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1;$$

$$0 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 z'_2;$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2.$$

ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР



Трансформаторная группа при соединении обмоток по схеме $Y/Y_0 - 12$.

ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

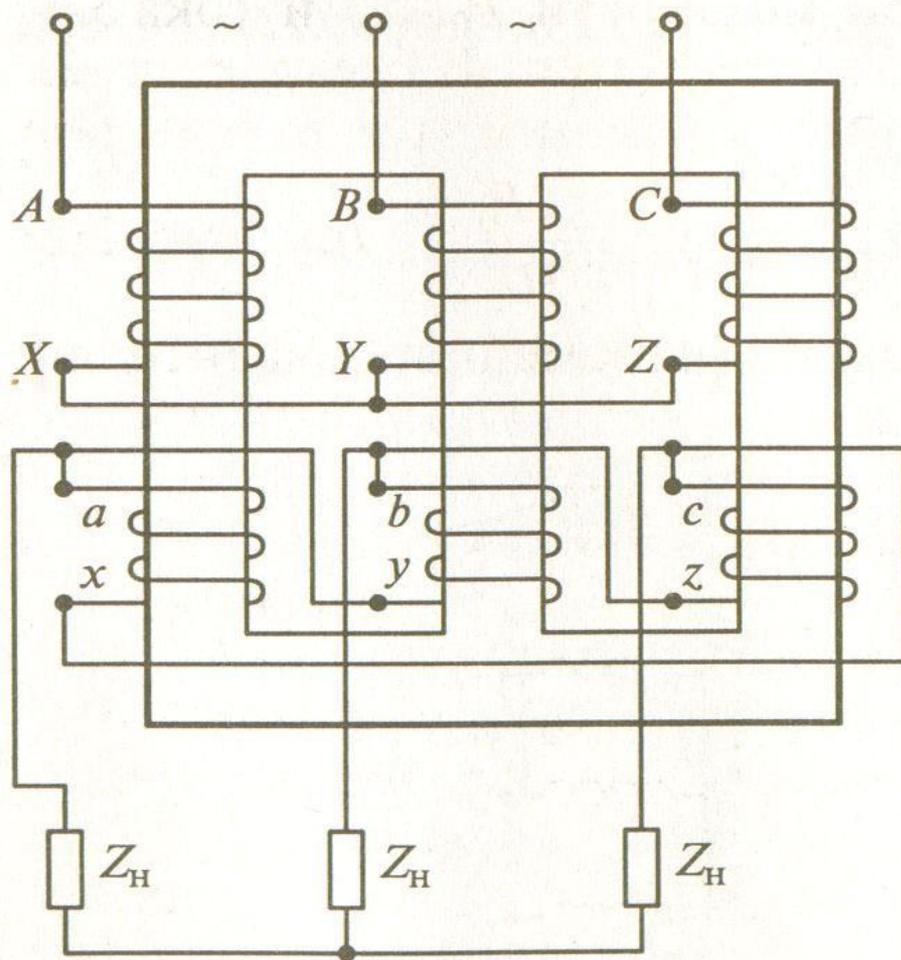
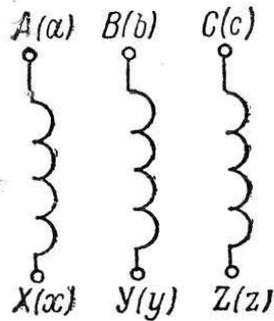
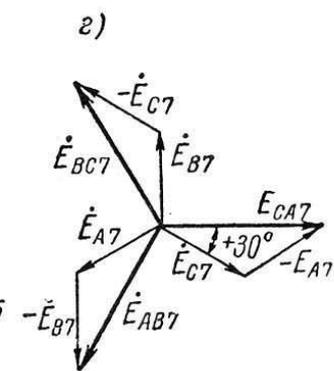
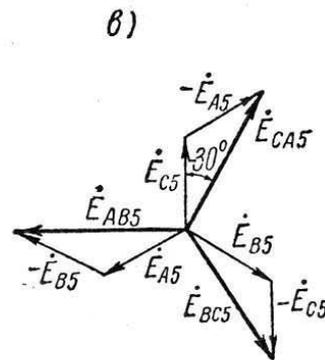
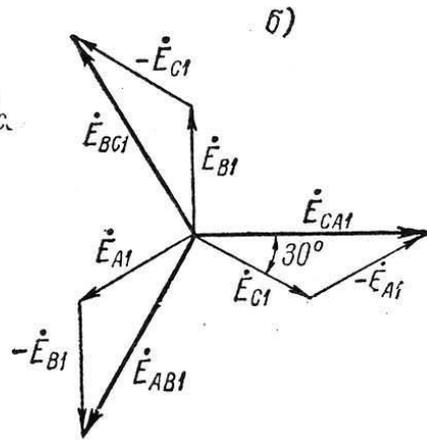
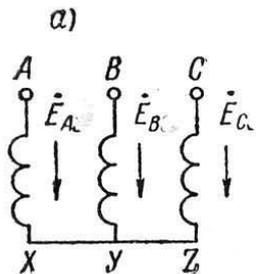


Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора
 $Y/\Delta-11$

СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ФАЗ ОБМОТК

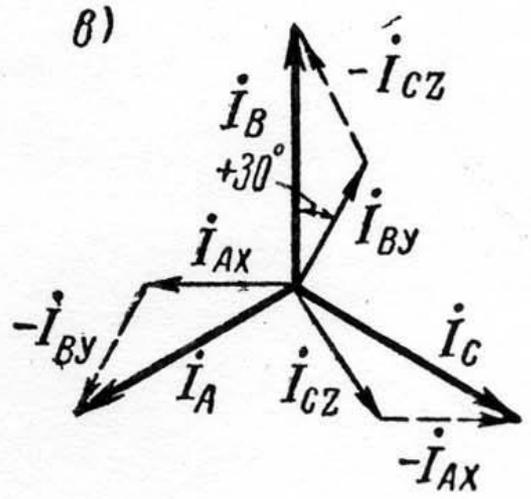
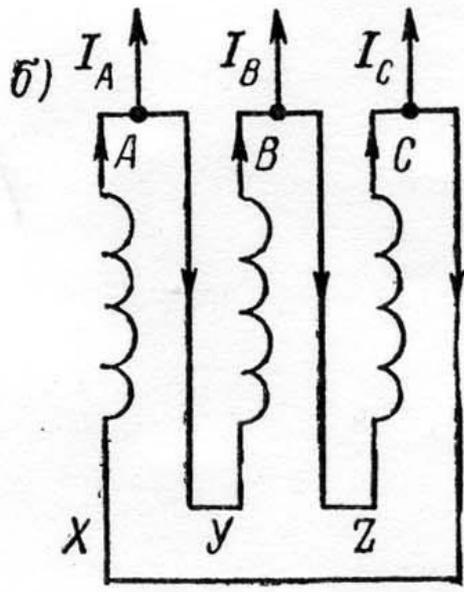
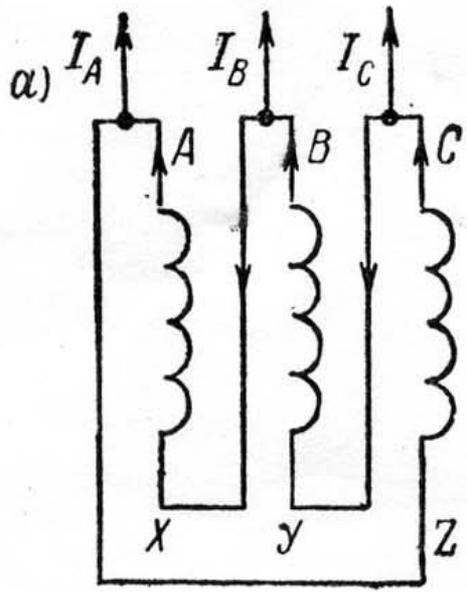


Начала и концы трехфазной обмотки.



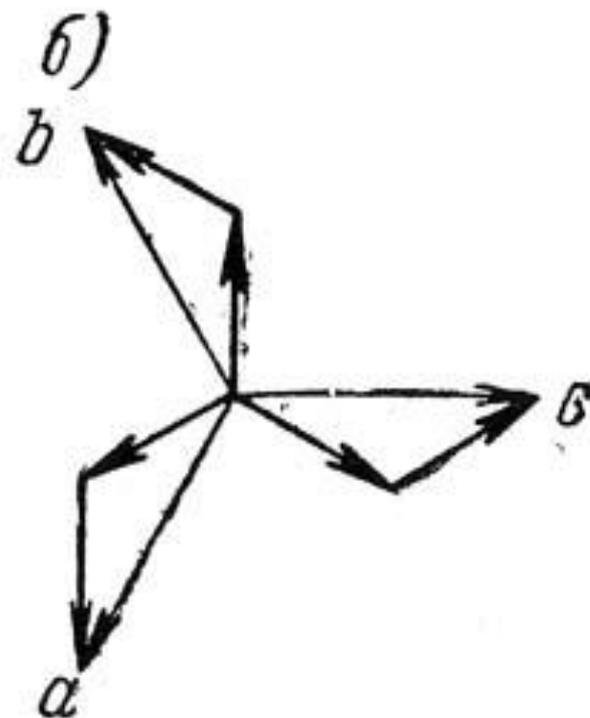
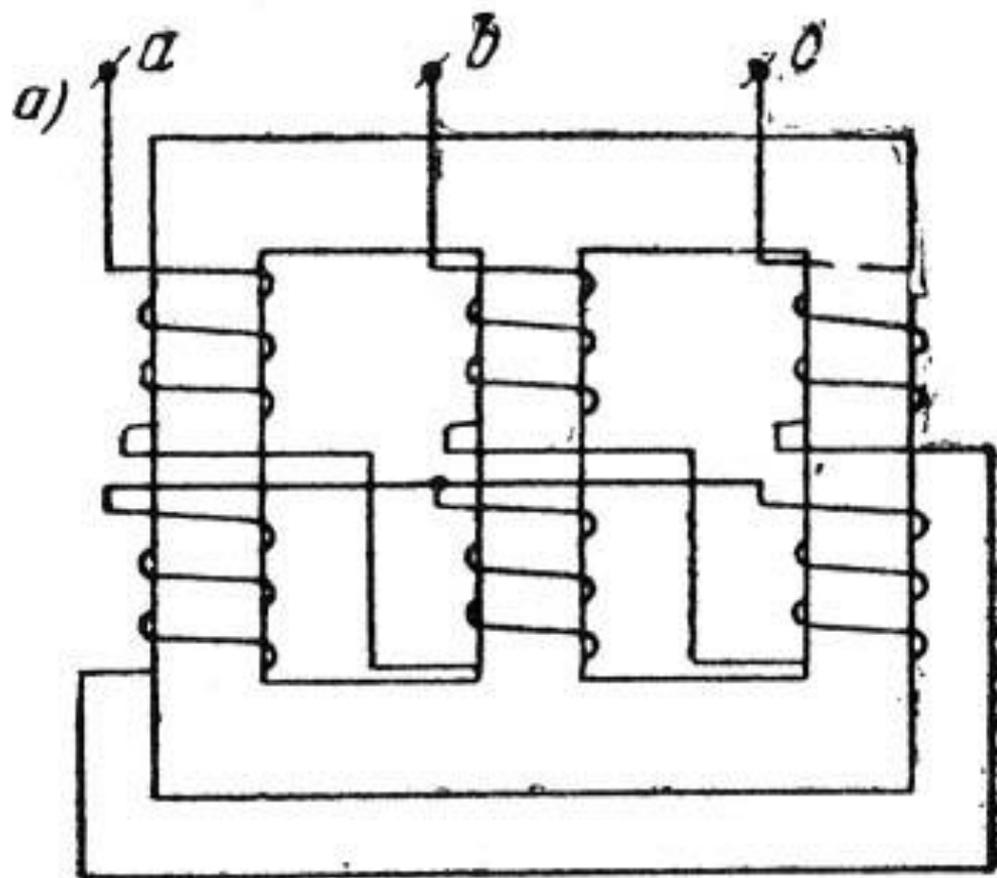
Векторные диаграммы э. д. с. при соединении трехфазной обмотки звездой.

СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ФАЗ ОБМОТК



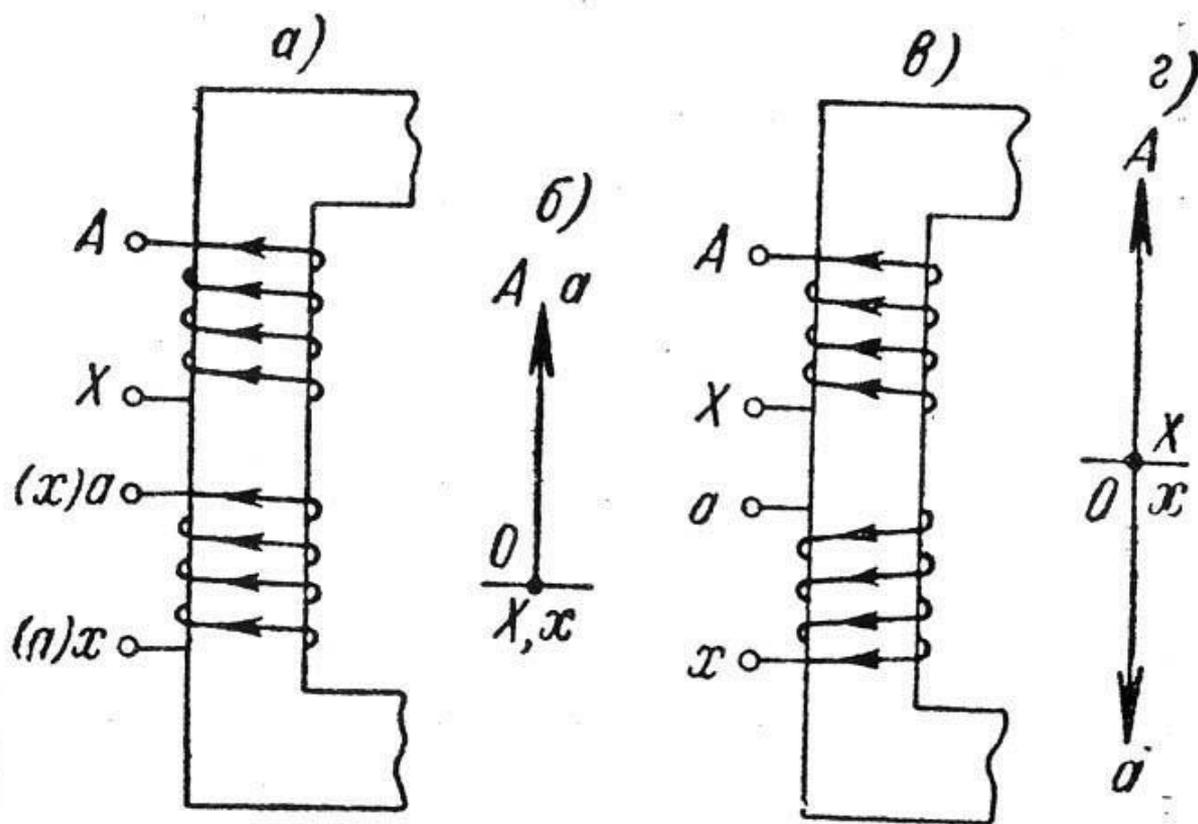
а и б — схемы соединений трехфазной обмотки треугольником; в — диаграмма токов.

СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ФАЗ ОБМОТОК



Соединение зигзагом.

ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ



Угол сдвига векторов
э. д. с. в зависимости от направления
намотки и обозначения зажимов об-
мотки.

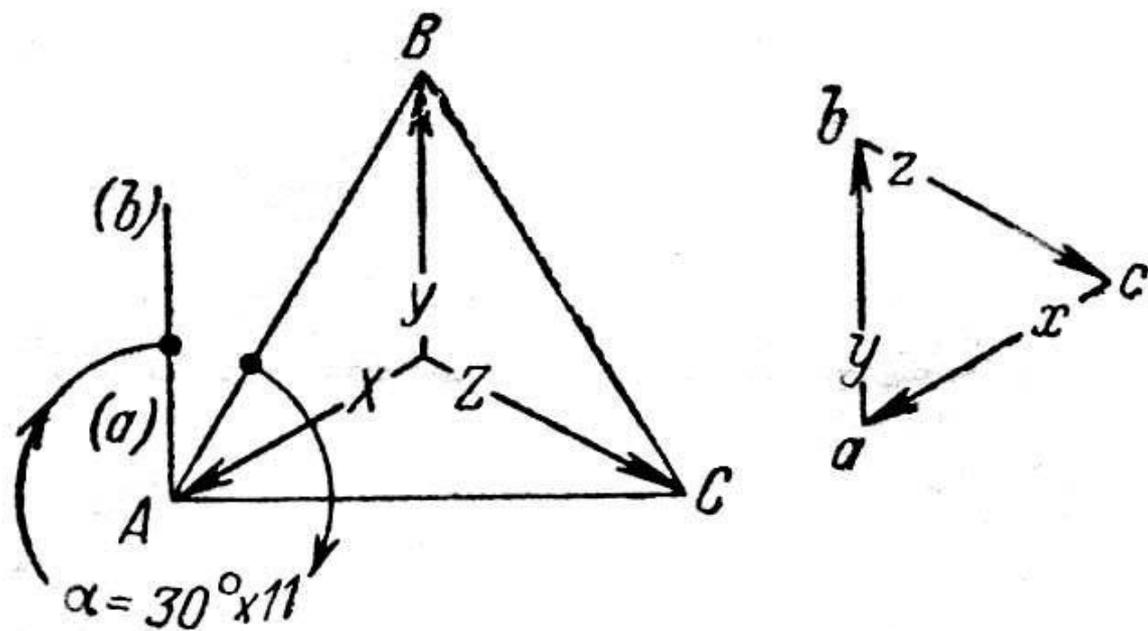
ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ

Для однофазных трансформаторов возможны только две группы: *нулевая и шестая*.

Для трехфазных трансформаторов возможно большее число комбинаций соединений.

Поэтому и групп больше - 12, отличающихся линейных напряжений на 30° . Применяются соединения: звезда, треугольник и, редко, зигзаг.

ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ



Соединение Y/Δ — 11.

ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ

	Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов		Условные обозначения
	В. Н.	Н. Н.	В. Н.	Н. Н.	
а)					Y/Y_0^{-12}
б)					Y/Δ^{-11}
в)					Y_0/Δ^{-11}

Схемы соединений обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов.

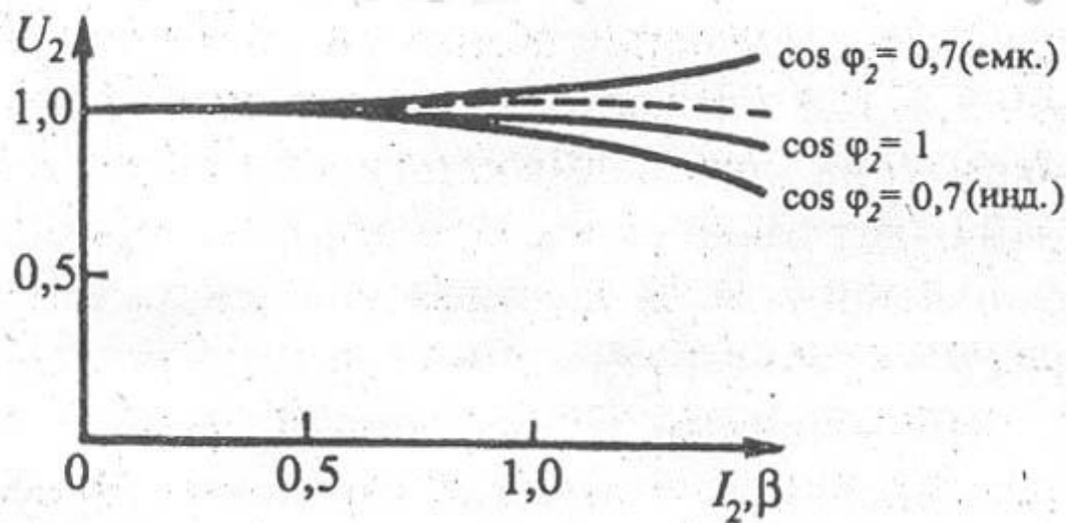
ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ

Таблица 15-1

Обозначение схемы соеди- нения обмоток	Напряжение обмоток		Мощность трансформатора кВа
	ВН кВ	НН В	
Y/Y ₀ -12	До 35 (включительно) То же	230 400	До 560 (включительно) > 1800 >
Y/Δ — 11	До 35 (включительно)	525 Выше 525	До 1800 (включительно) > 5600 >
Y ₀ /Δ—11	110 и выше	3150 и выше	3200 и выше
	6,3 и выше	3300 и выше	7500 и выше

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Внешняя характеристика - это зависимость напряжения на вторичной обмотке от нагрузки или I_2 , где β коэффициент нагрузки.



Внешние характеристики трансформатора

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}}$$

$$\Delta u = \beta (u_{ak} \cos \varphi_2 + u_{pk} \sin \varphi_2)$$

Падение напряжения определяется значениями β или характером нагрузки $\cos \varphi_2$ а также напряжением короткого замыкания.

При активно-емкостной нагрузке из-за увеличения реактивной мощности при увелич. I_2 напряжение на вторичной обмотке растет. Избыток реактивной энергии при этом отдается обратно в первичн. обм-ку, что ведет к увелич эдс, магнитного потока и напряжению u_2 .
При активно-индуктивной нагрузке напряжение u_2 падает из-за падения напряжения на внутреннем сопротивлении z_k .

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Показывает соотношение между мощностью, которая передается из первичной обмотки во вторичную и мощностью, которая преобразуется в тепло.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} = 1 - \frac{\sum P}{P_2 + \sum P}$$

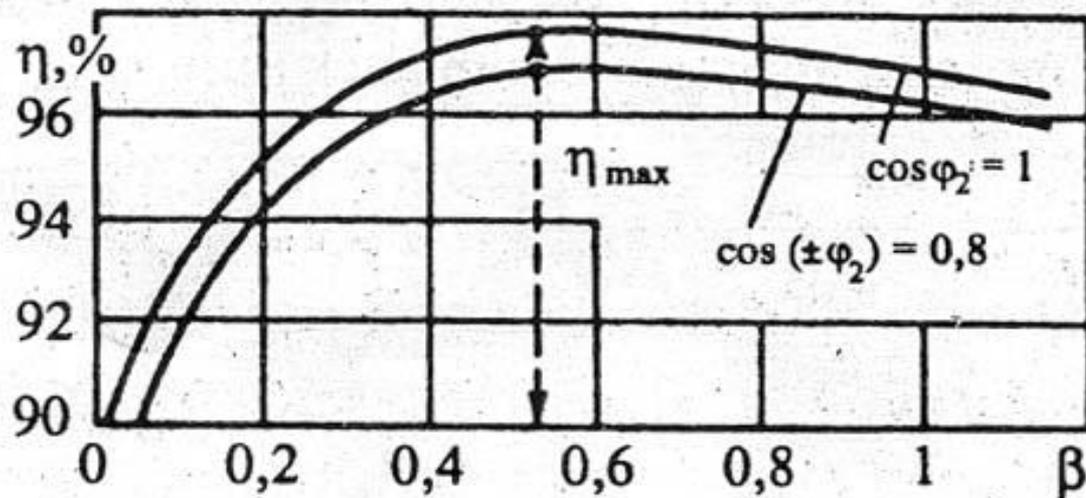
$$P_2 = m U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta P_{2, \text{НОМ}} \cos \varphi_2$$

По ГОСТ КПД трансформатора определяется:

$$\eta = 1 - \frac{P_{x, \text{НОМ}} + \beta^2 P_{k, \text{НОМ}}}{\beta P_{2, \text{НОМ}} \cos \varphi_2 + P_{x, \text{НОМ}} + \beta^2 P_{k, \text{НОМ}}}$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ



Зависимость КПД от нагрузки
при неизменном $\cos \varphi_2$

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ В

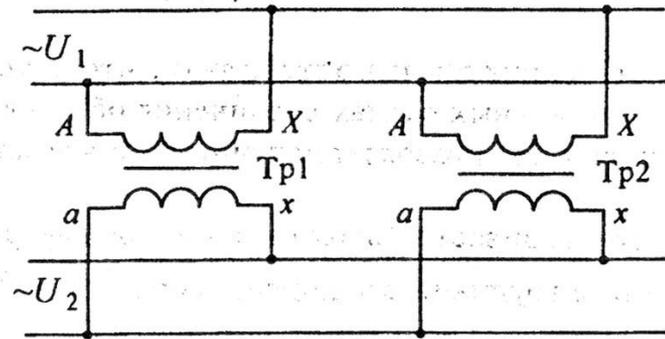
При параллельной работе трансформаторов первичные и вторичные обмотки подключены к общим шинам.

Необходимо, чтобы напряжения на первичных и вторичных обмотках были одинаковыми. На параллельную работу трансформаторов, имеющие одинаковые напряжения, исключает появление уравнивающих токов групп, то из-за сдвига фаз в 30° по несколько раз больше номинального.

Допускается включение с коэффициентом трансформации, отличающиеся не более, чем на 1%.

Для пропорционального распределения мощности между трансформаторами необходимо иметь одинаковые напряжения $u_k\%$. Допускается включение, когда это напряжение отличается не более, чем на 10%. При этом перегружается тр-р с меньшим $u_k\%$.

Рекомендуется включать параллельно тр-ры, отличающиеся мощностями не более, чем в три раза



МНОГООБМОТОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1; \\ \dot{U}'_2 &= \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 z'_2; \\ \dot{U}'_3 &= \dot{E}'_3 - \dot{I}'_3 z'_3; \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_3. \end{aligned} \right\}$$

В этих уравнениях полные сопротивления обмоток равны

$$\begin{aligned} z_1 &= r_1 + jx_1; & z'_2 &= r'_2 + jx'_2; \\ z'_3 &= r'_3 + jx'_3, \end{aligned}$$

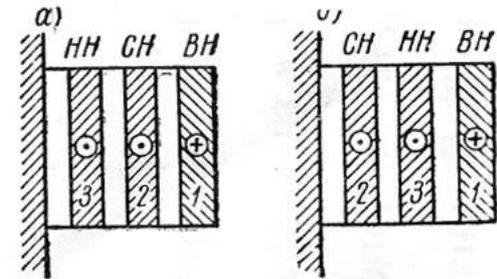


Рис. Схема расположения обмоток трехобмоточного трансформатора.

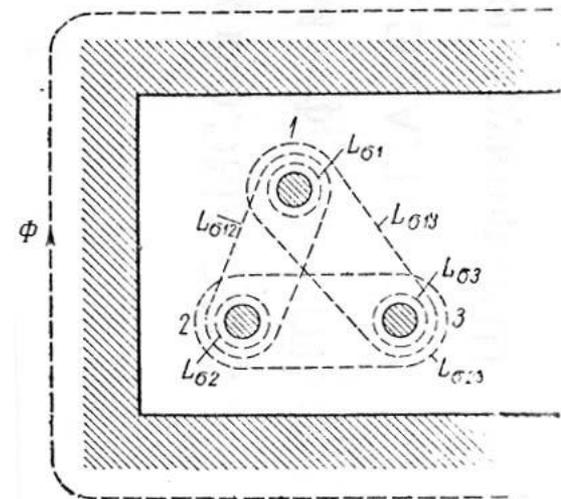
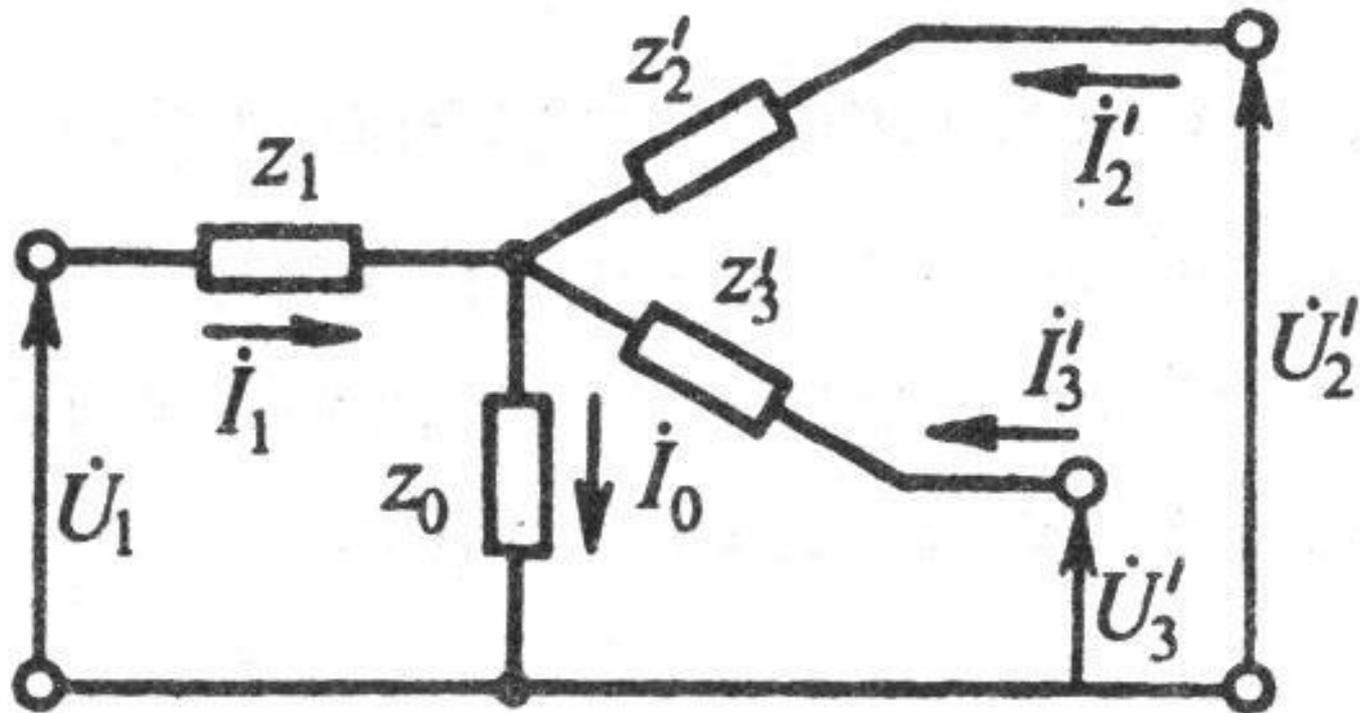


Схема потоков рассеяния в трехобмоточном трансформаторе.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ТРЕХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА



АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

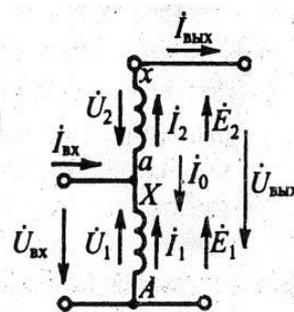
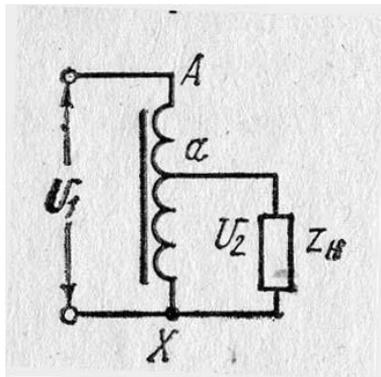
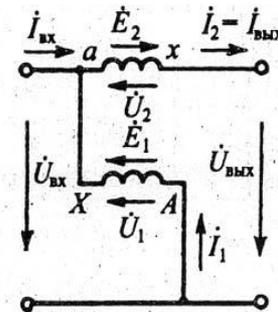


Схема включения обмоток
автотрансформатора



Зидоизмененная схема авто-
трансформатора

В автотрансформаторах передача энергии осуществляется магнитным полем и за счет электрической связи.

Токи первичной и вторичной обмоток направлены встречно, поэтому при небольших коэффициентах трансформации обеспечивается экономия меди.

Они применяются также в низковольтных сетях в качестве плавных низковольтных регуляторов напряжения (ЛАТР).

Конструктивно автотрансформатор не отличается от силового тр-ра. Активная часть помещается в бак с маслом.

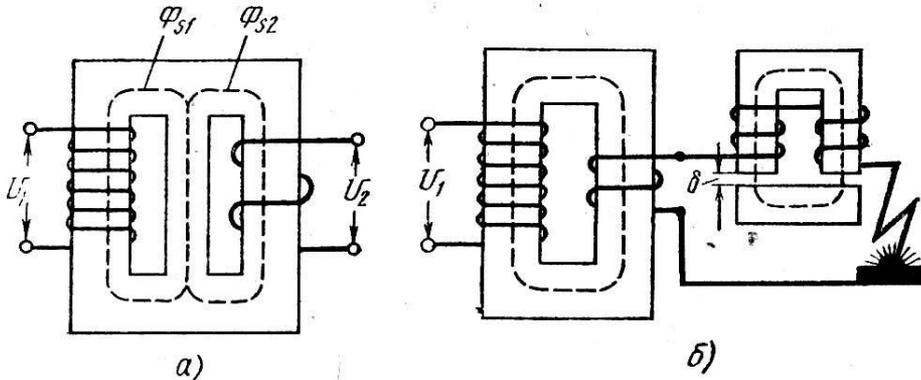
АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

Недостатки:

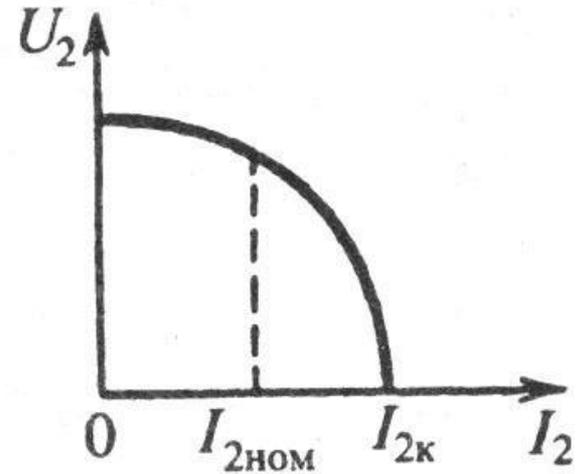
1. Изоляция обмоток должна выполняться на большее напряжение.
2. Автотрансформаторы не могут выполняться на напряжения 6,0/0,38 кВ, т.к. на оборудовании могут работать люди.
3. Большой ток короткого замыкания.

Применение автотрансформаторов улучшает КПД энергосистемы, снижает стоимость передачи электроэнергии.

СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ



Схемы устройства сварочных трансформаторов:
а — с магнитным шунтом, б — с индуктивной катушкой



Горение дуги возникает при напряжении 40...70 В.
Для качественной сварки требуется крутопадающая внешняя характеристика

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Для испытаний кабелей и разного оборудования в лабораториях испытательных центров требуется высокое напряжения до 1 млн В и более. Здесь прим. испытательные тр-ры. Они выполняются в виде каскада. Принципы, на которых основаны конструкции испытательных трансформаторов:

1. Принудительное распределение высокого напряжения по всей высоковольтной схеме, благодаря чему фиксируются потенциалы отдельных узловых точек схемы относительно земли.
2. Дробление общего напряжения на несколько трансформаторов, соединяемых последовательно или в каскад.
3. Применение вспомогательных или изолирующих трансформаторов
4. Применение конструкции обмотки высокого напряжения по типу конденсаторного изолятора

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

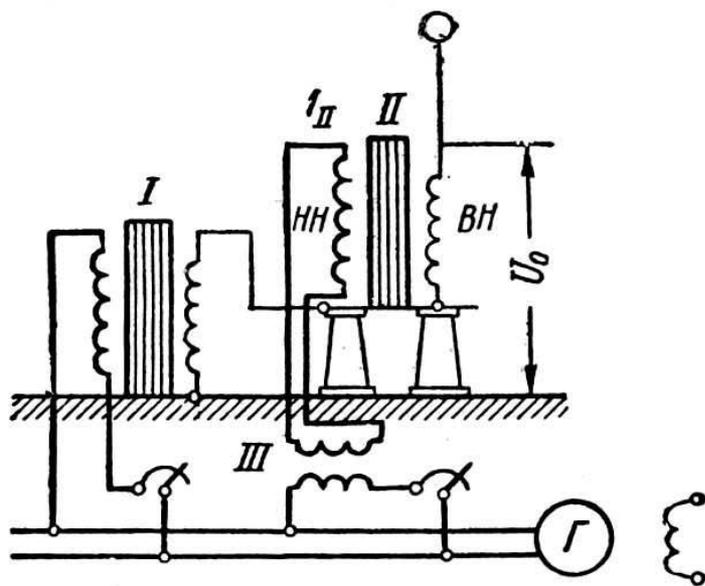


Схема испытательного трансформатора с изолирующим трансформатором.

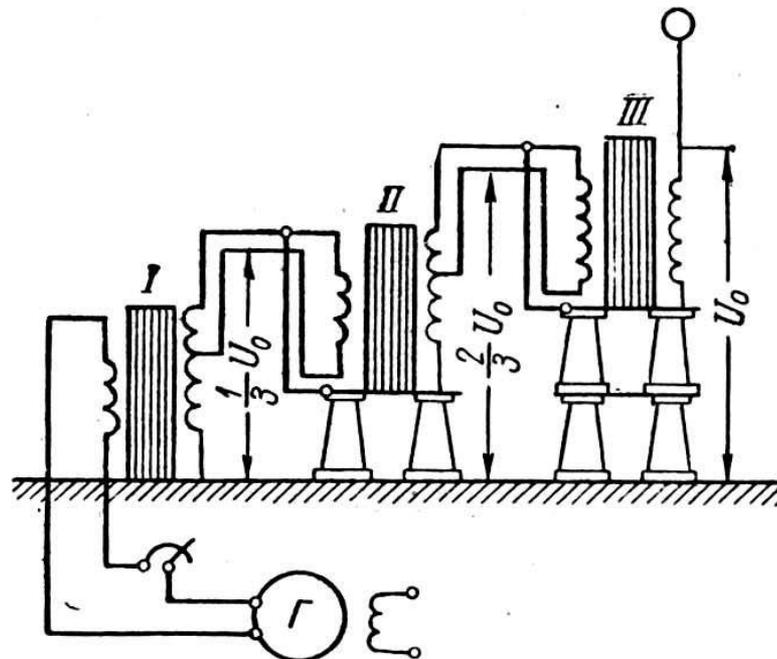
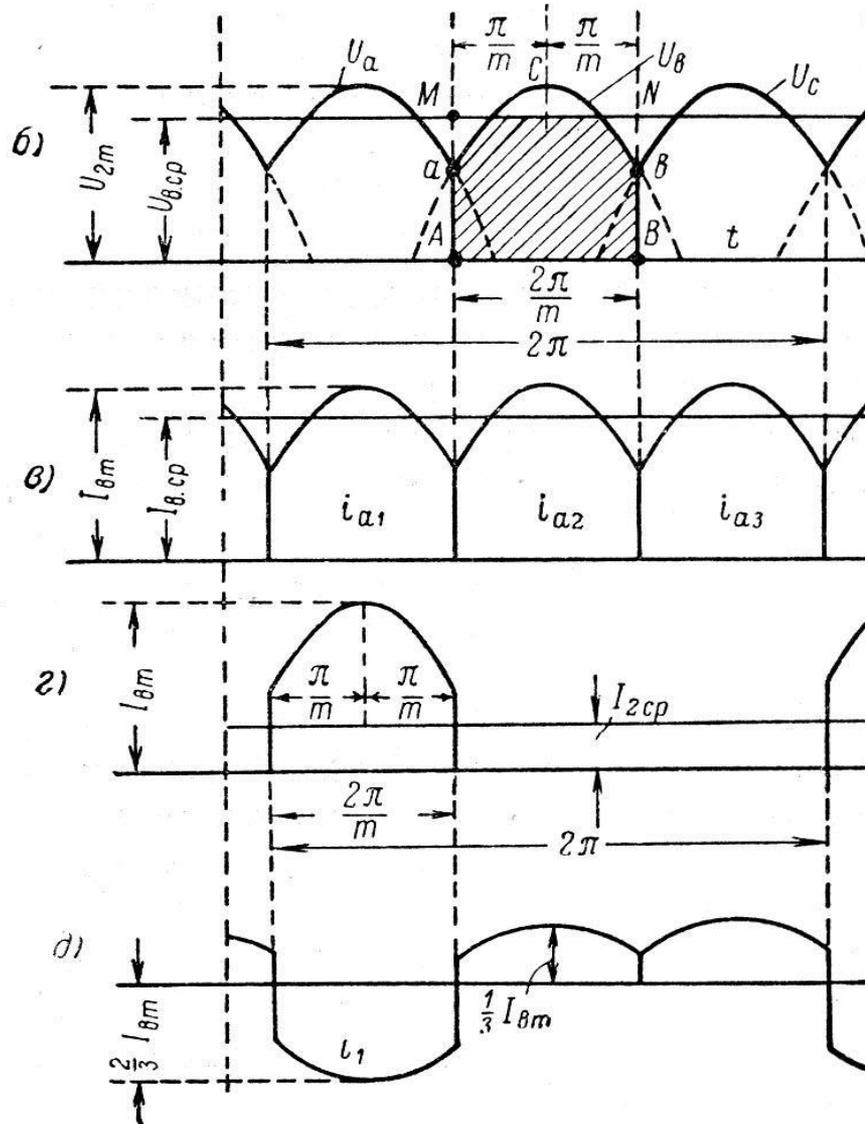
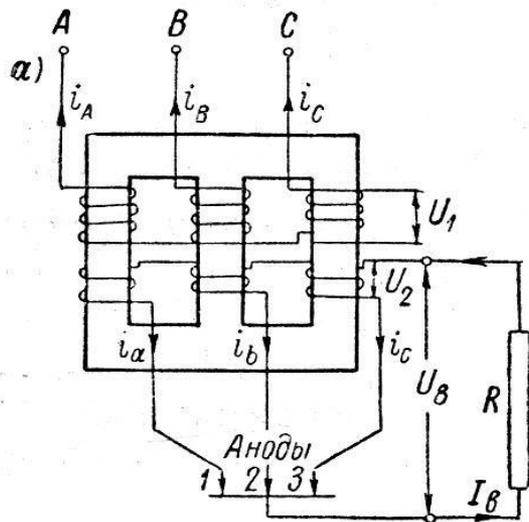
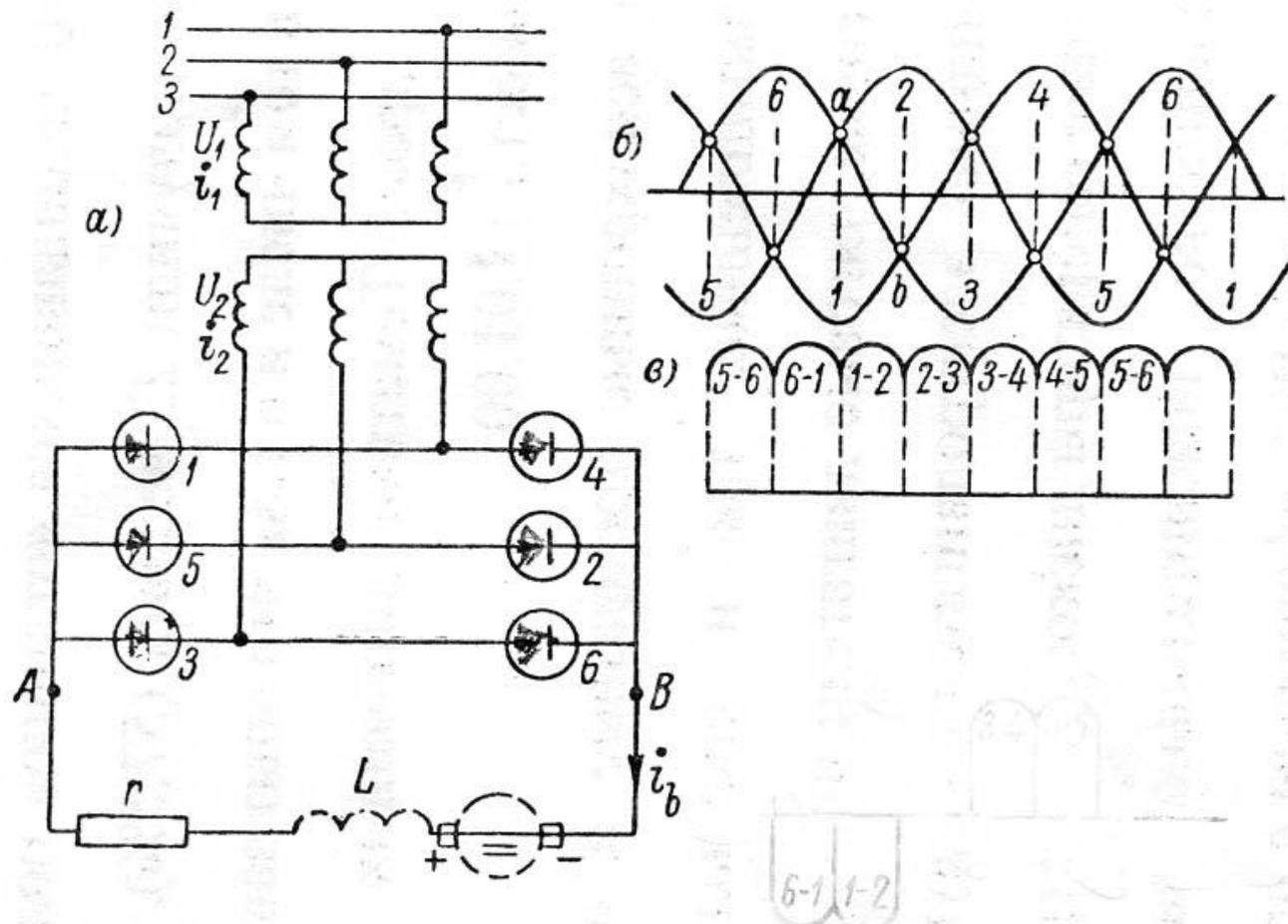


Схема каскадного испытательного трансформатора с возбуждением по принципу автотрансформатора.

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

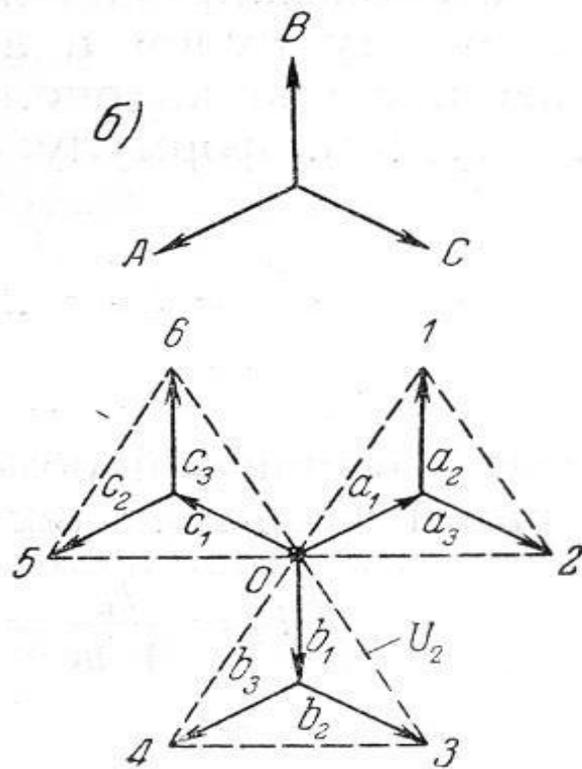
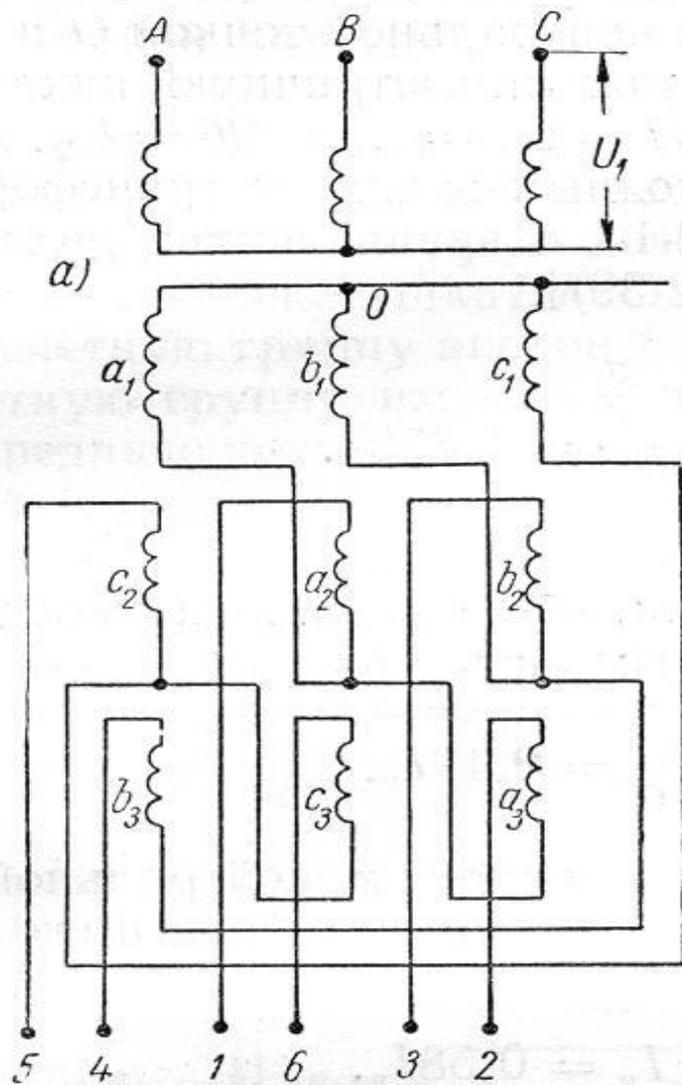


ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ



2. Трехфазная мостовая схема: а — схема соединений; б — вторичные фазные напряжения трансформатора; в — выпрямленное напряжение; г — вторичный фазный ток трансформатора.

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ



ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ

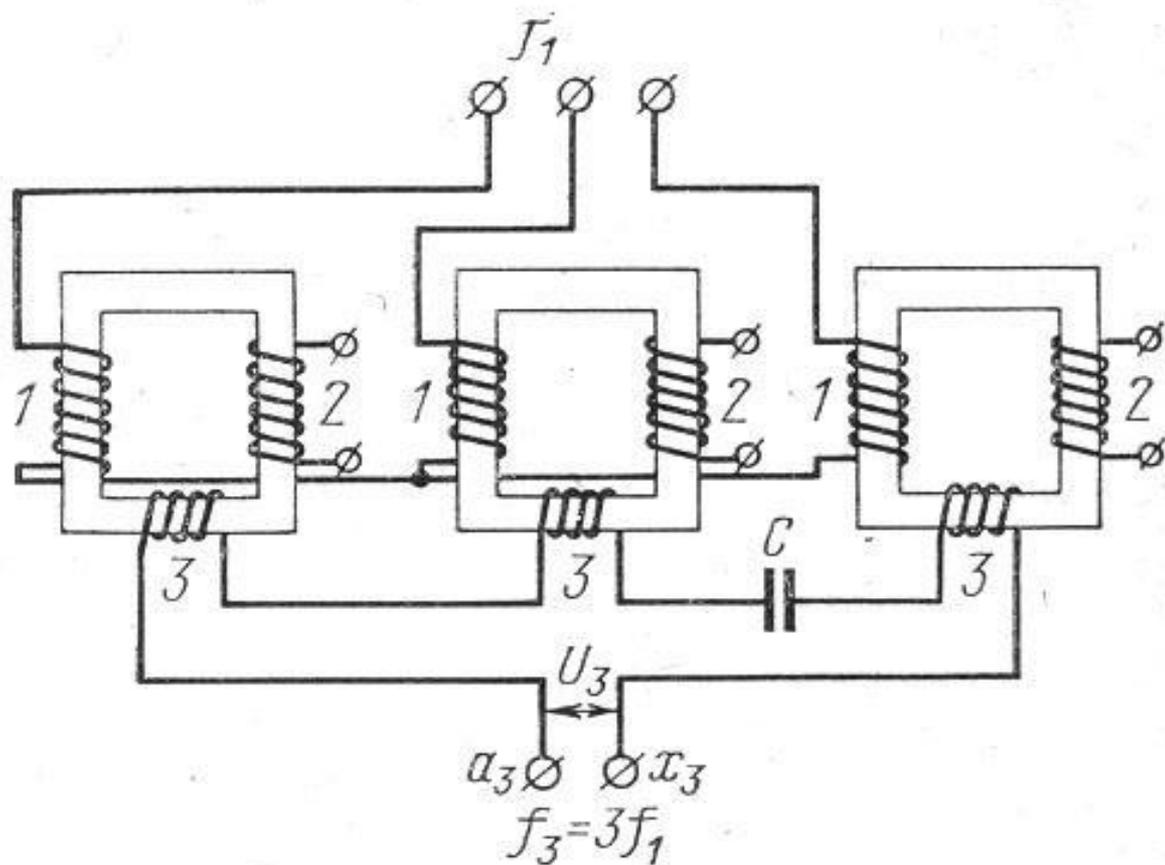
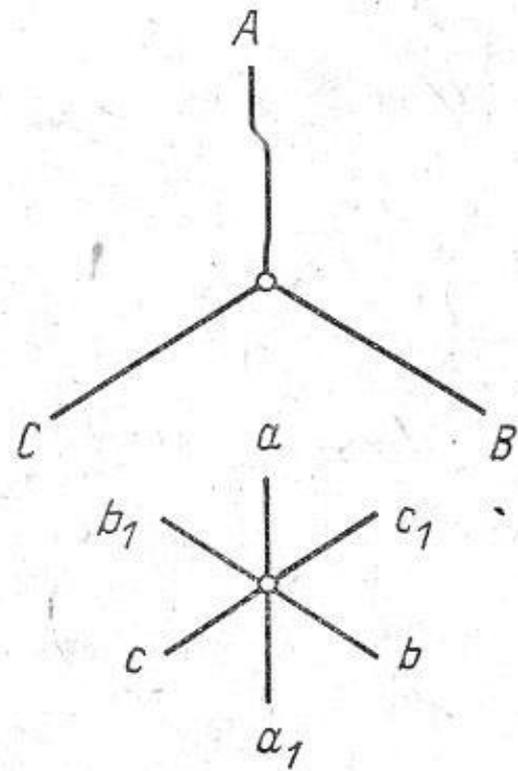
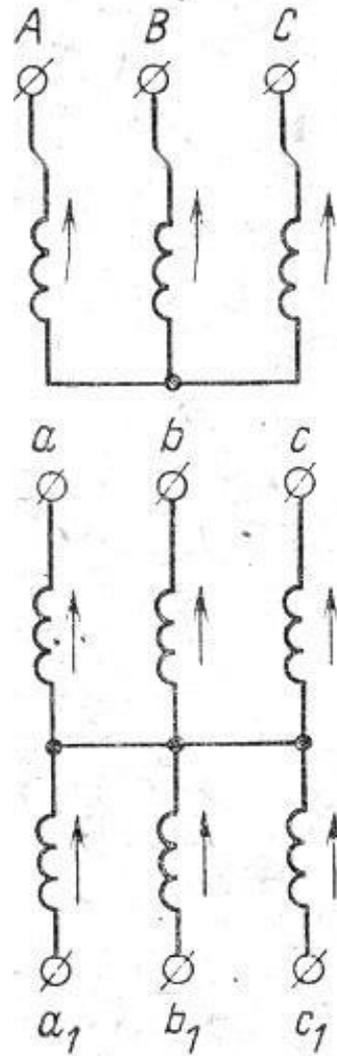
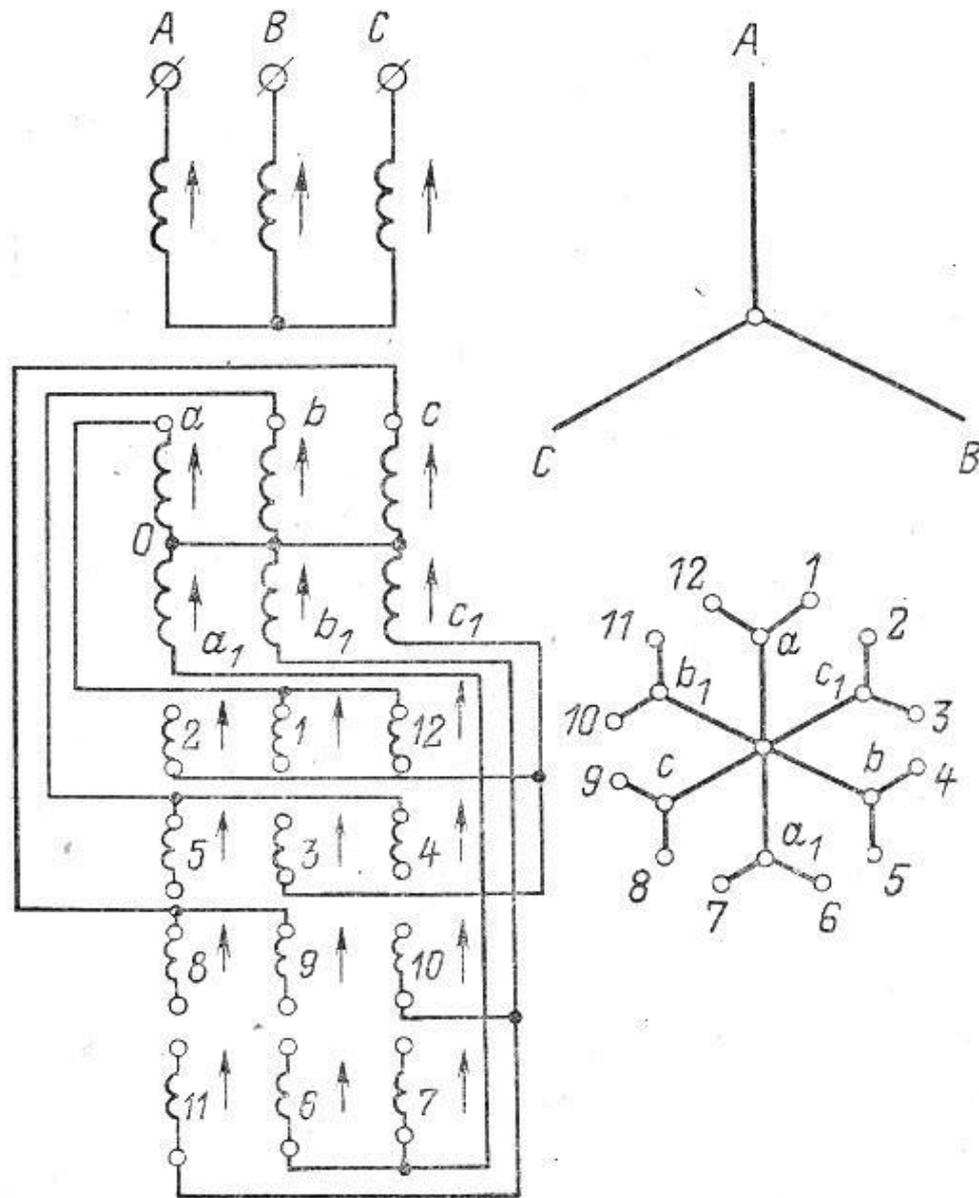


Схема утроения частоты.

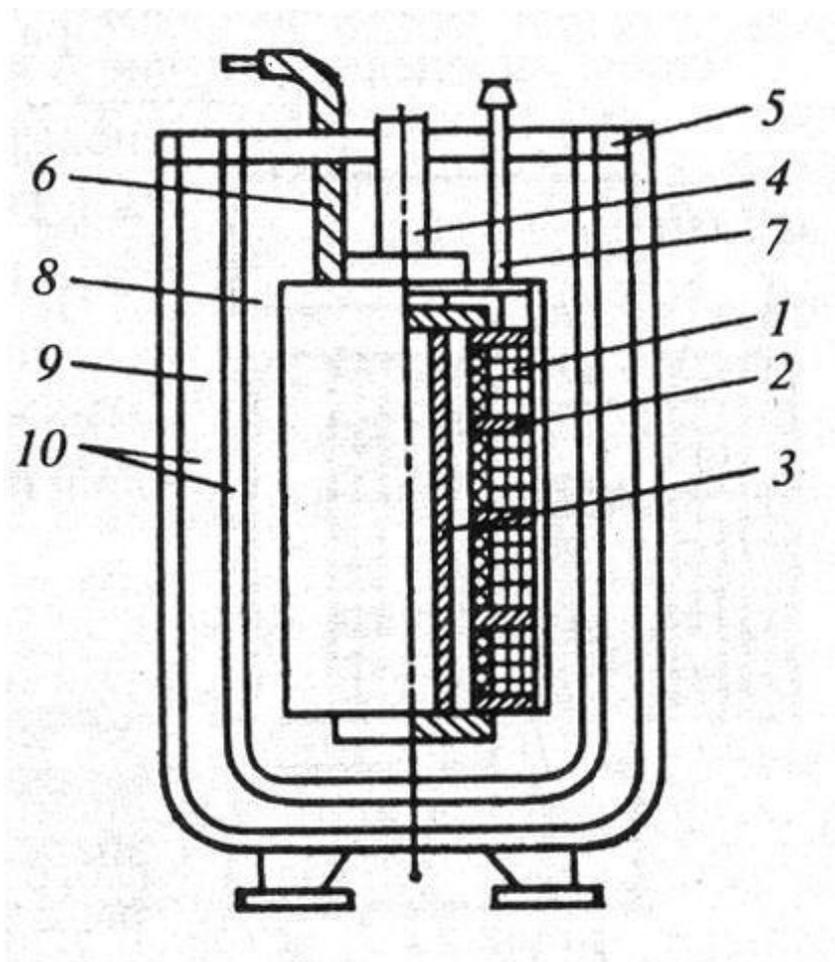
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧИСЛА ФАЗ



ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧИСЛА ФАЗ



СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ИНДУКТИВНЫЕ НАКОПИТЕЛИ

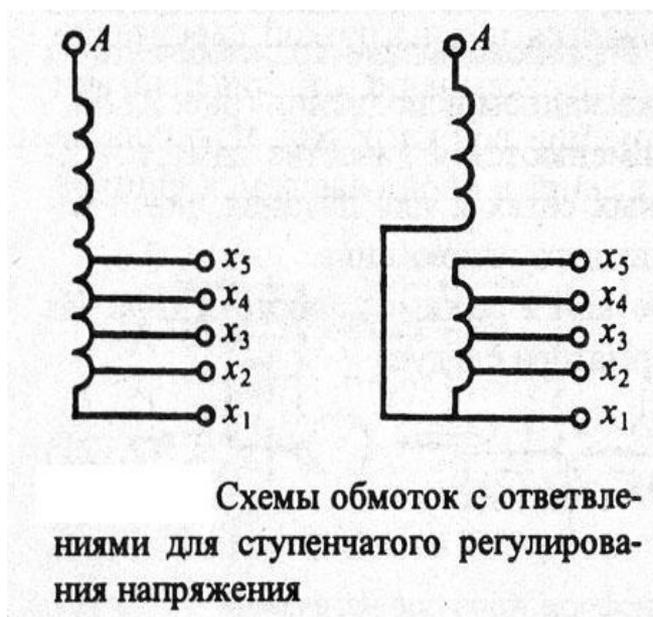


Сверхпроводящий индук-
тивный накопитель

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Регулирование напряжения вторичной обмотки трансформаторов необходимо для правильной работы электрооборудования.

Распространен способ регулирования изменением числа витков вторичной или первичной обмоток., т.е.изменением коэффициента трансформации. По ГОСТ должно быть пять ответвлений: номинальное напряжение, $\pm 2,5$ и $\pm 5\%$. Чаще переключение устанавливают на стороне высшего напряжения



РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

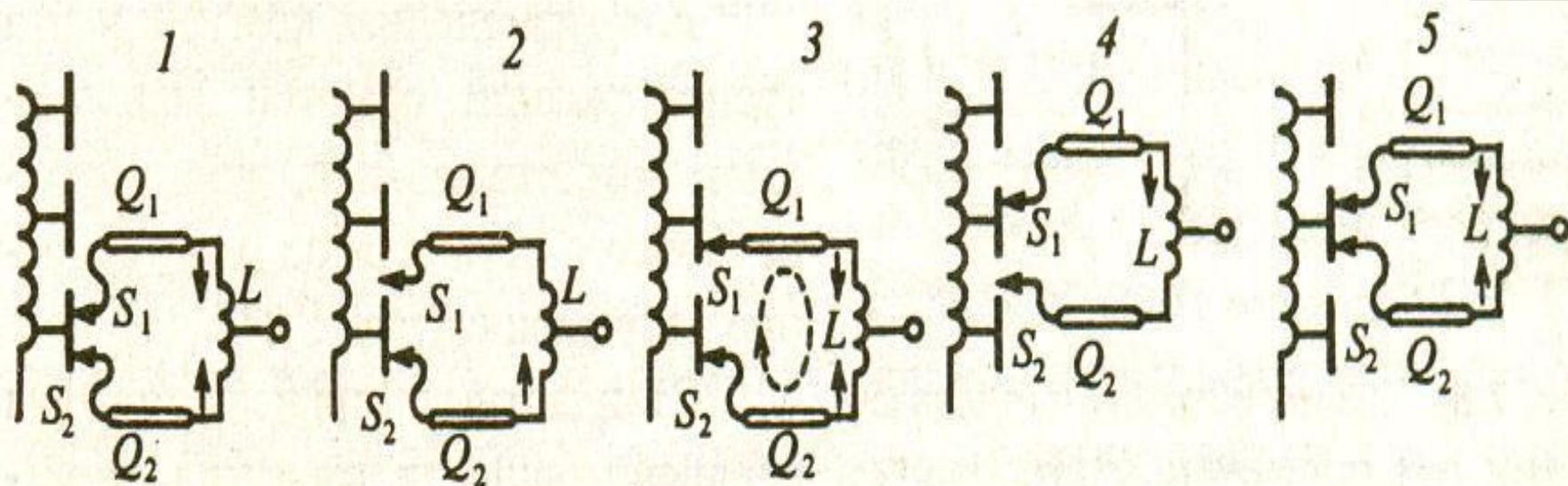
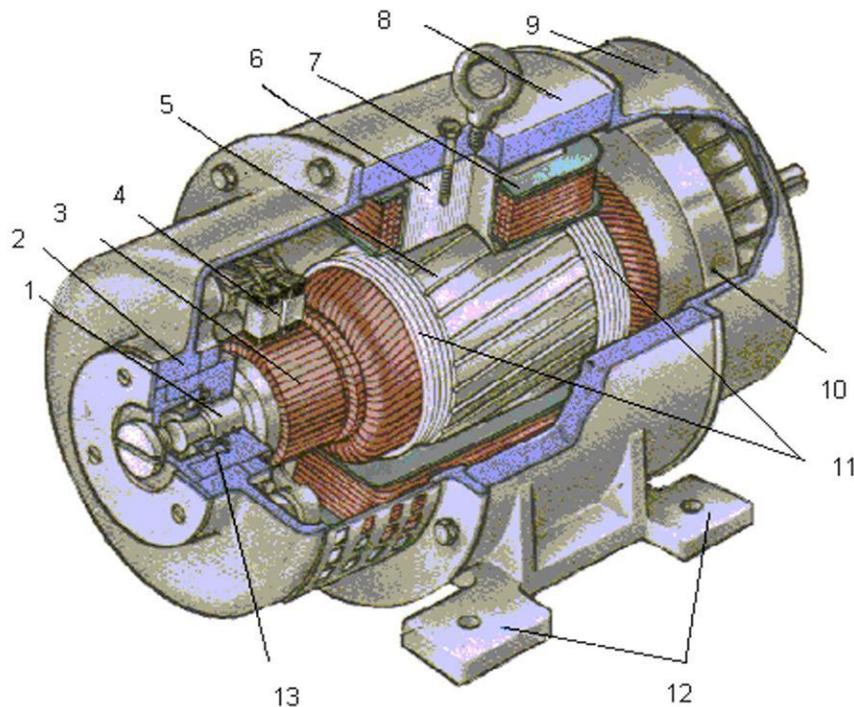


Схема переключения отпаяк трансформатора под нагрузкой

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ



- Электрические машины постоянного тока (МПТ) широко применяются в качестве двигателей и генераторов. Причем одна и та же электрическая машина постоянного тока может работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя, т. е. обладает свойством обратимости.

РАЗЛИЧНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- В режиме генератора МПТ преобразуют механическую энергию, подводимую к их валу от первичного двигателя, в электрическую энергию постоянного напряжения и тока.
- В режиме двигателя МПТ осуществляют обратное преобразование: электрическую энергию постоянного тока преобразуют в механическую энергию, снимаемую с их вала.

ДОСТОИНСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- Возможность плавно и в широком диапазоне регулировать частоту вращения якоря простыми техническими способами;
- улучшенные пусковыми характеристики — развивают большой пусковой момент при относительно небольшом токе.

Недостатки двигателей постоянного тока

- Низкая удельная мощность;
- Наличие коллектора, устройства снижающего надёжность машины.

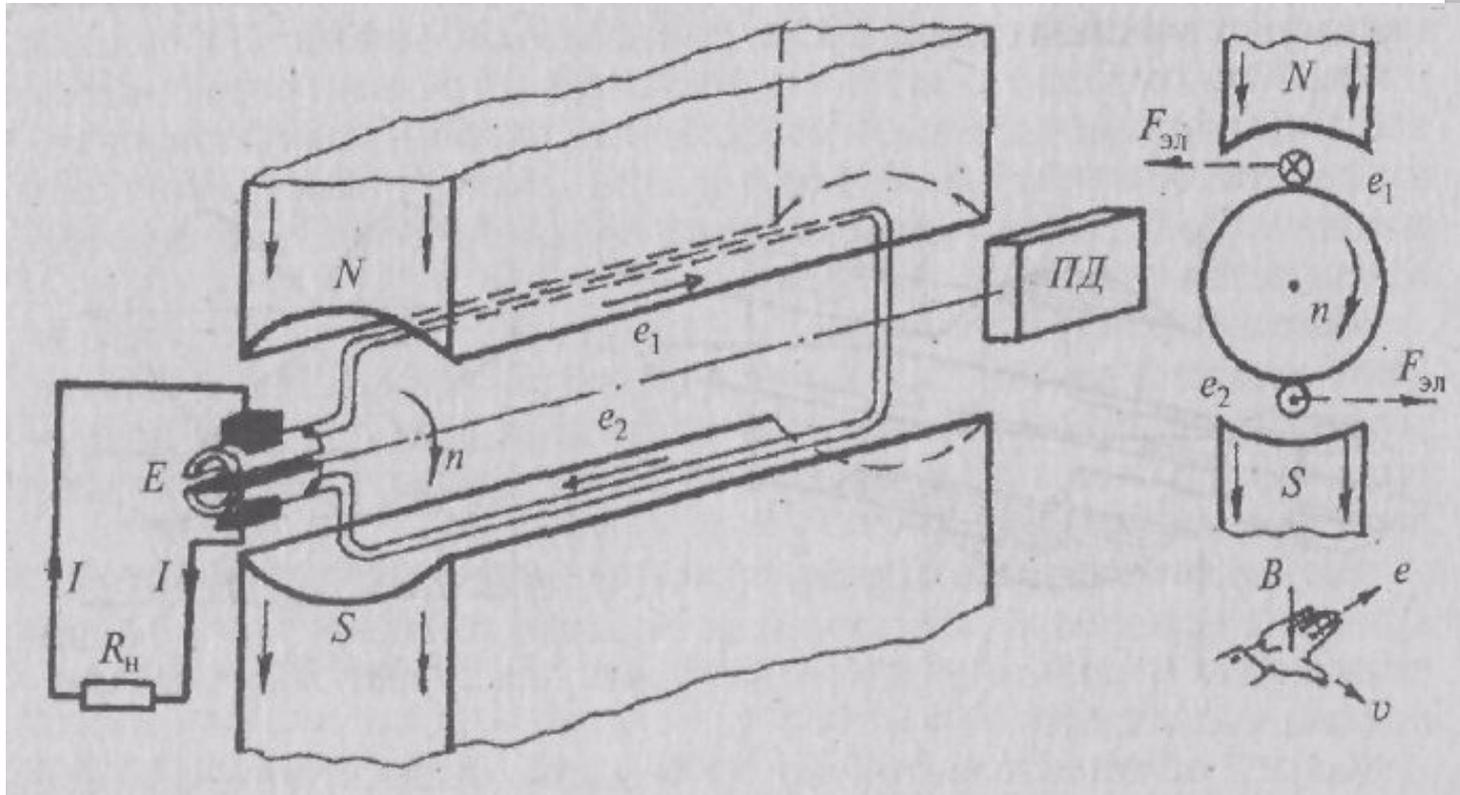
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- ⦿ в качестве приводных двигателей для прокатных станов, гребных винтов кораблей, шахтных подъемных машин;
- ⦿ в электрифицированном магистральном, городском и заводском транспорте, дорожно-строительных, ремонтно-отделочных машинах;
- ⦿ В качестве приводов исполнительных органов систем автоматического управления и регулирования и т. д.

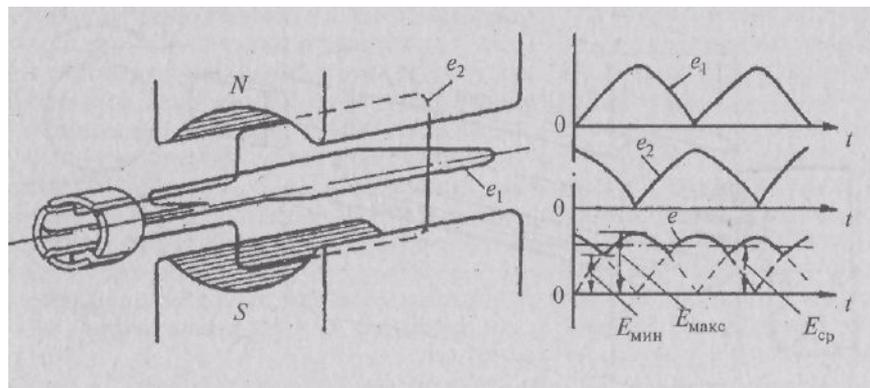
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- Для питания электроэнергией электролитических ванн, зарядки аккумуляторных батарей, высококачественной сварки.
- В системах автоматического регулирования специальные генераторы постоянного тока - электромашинные усилители - служат в качестве усилителей электрических сигналов управления.
- Специальные генераторы постоянного тока — тахогенераторы — применяются как датчики частоты вращения.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА



СГЛАЖИВАНИЕ ПУЛЬСАЦИИ ЭДС НА ЩЕТКАХ



РАЗНОВИДНОСТИ СЕКЦИЙ ЯКОРНЫХ ОБМОТОК

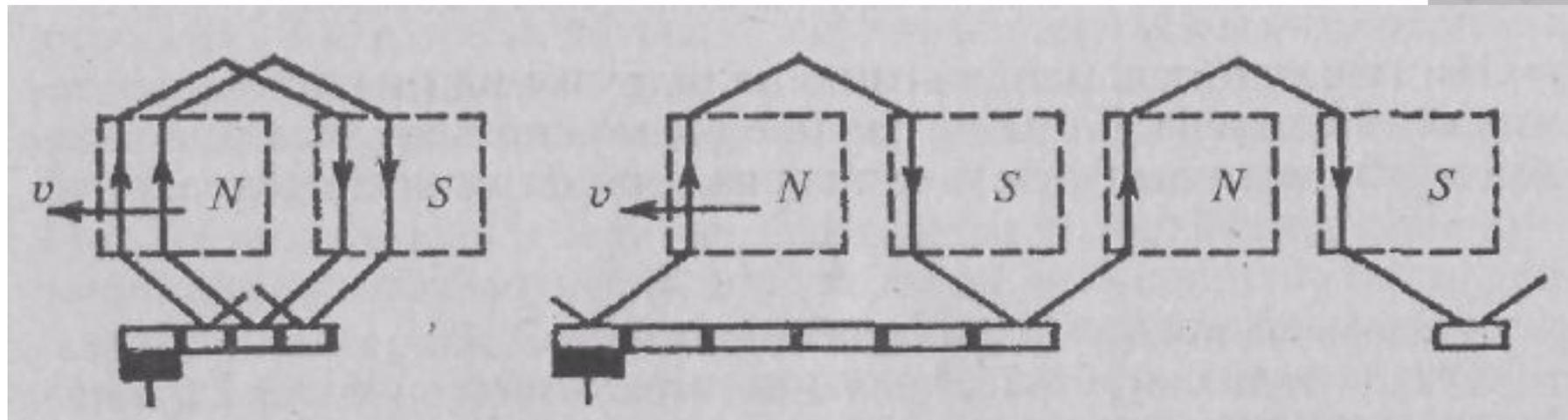
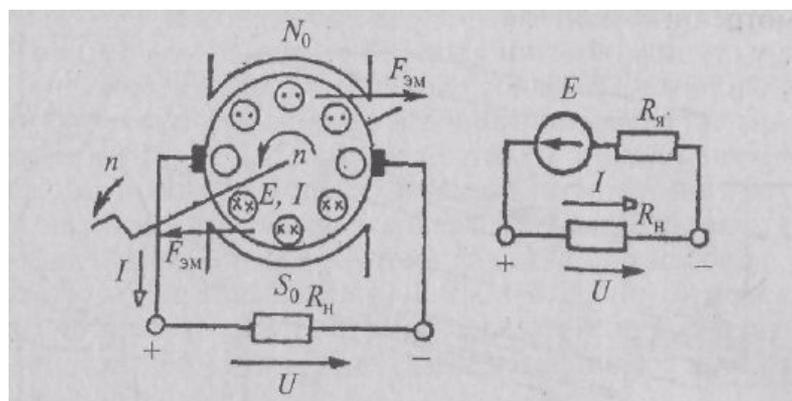


СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЦЕПИ ЯКОРЯ ГЕНЕРАТОРА

Уравнение напряжений генератора и баланс мощностей



$$U = E - I R_я.$$

$$UI = EI - I^2 R_я.$$

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

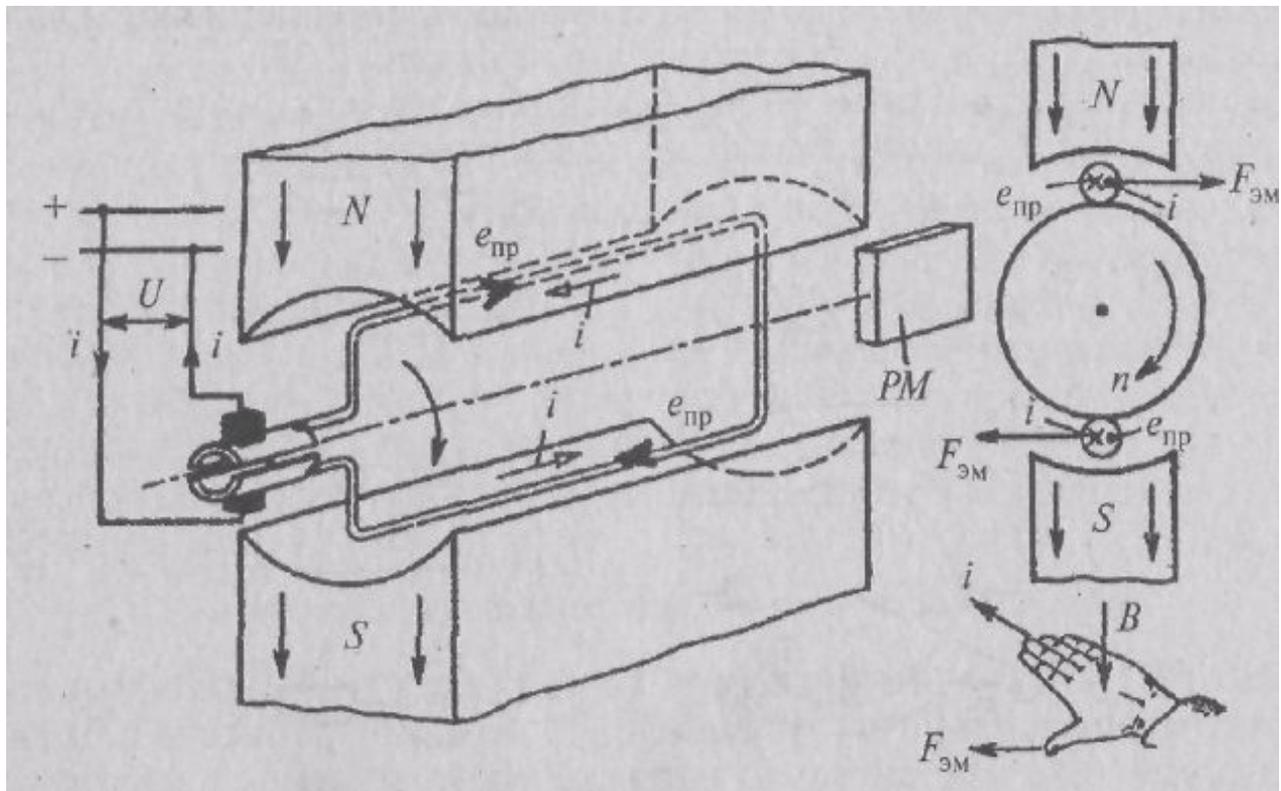
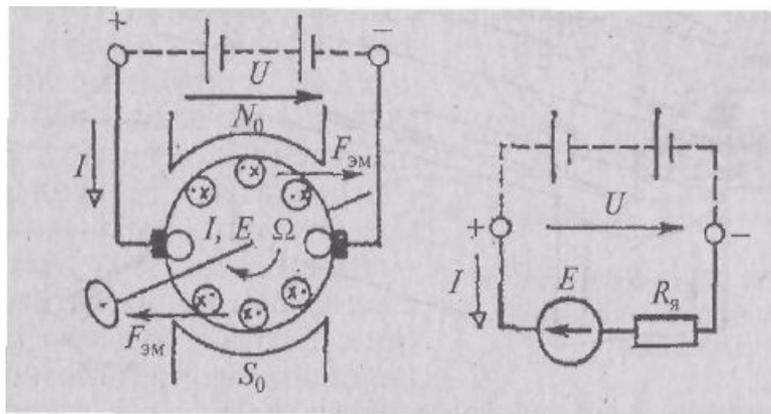


СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЦЕПИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ

Уравнение напряжений двигателя и баланс мощностей



$$U = E + I R_я.$$

$$U I = E I + I^2 R_я.$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

- Электрическая мощность $P=UI$, потребляемая якорем двигателя от источника электрической энергии, тратится на покрытие тепловых потерь в обмотке якоря $P_{\text{я}} = I^2 R_{\text{я}}$ и на электромагнитную мощность $P_{\text{эм}} = EI$, которая преобразовывается в механическую мощность на валу якоря $P_{\text{мех}} = M_{\text{вр}} \Omega = M_{\text{вр}} 2\pi n$.

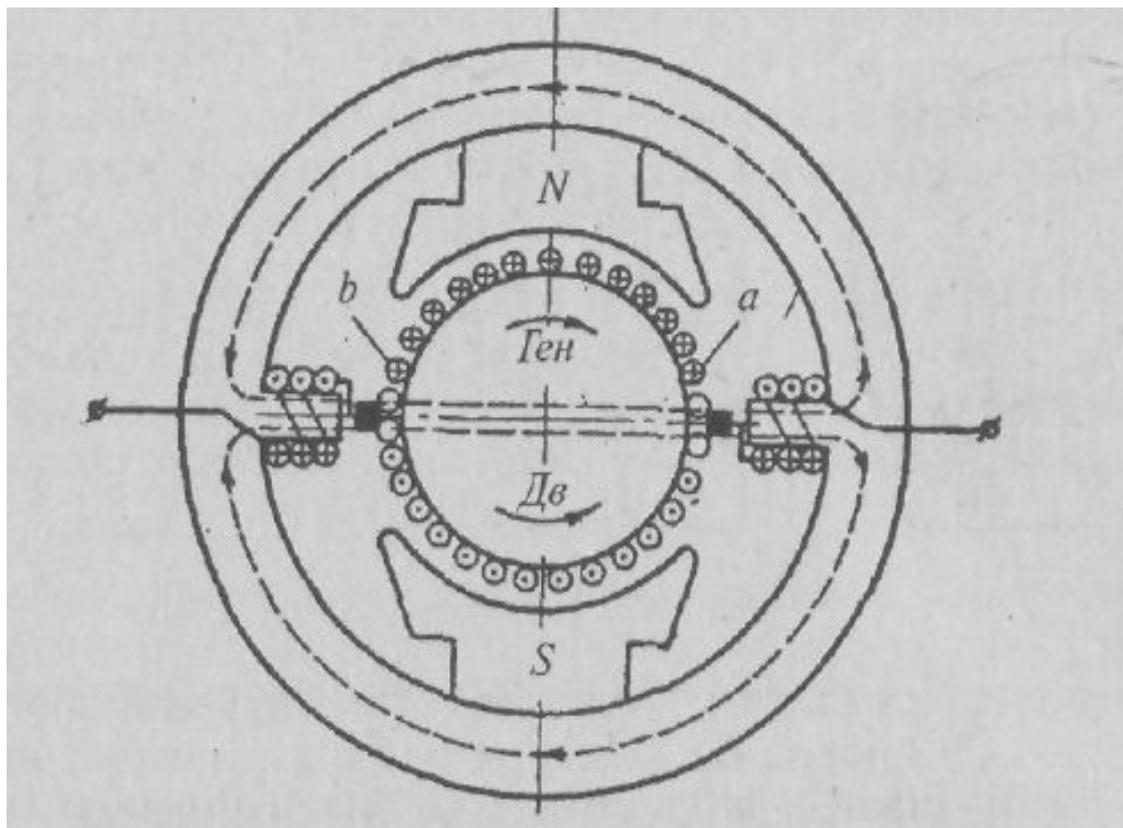
МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- предназначена для создания и распределения магнитного поля в воздушном зазоре и состоит из главных полюсов с катушками обмотки возбуждения, сердечника якоря, воздушного зазора между полюсами и якорем и ярма (станины).
- Магнитное поле создается токами обмотки возбуждения, усиливается железом полюсов, якоря и ярма, по которым проходит магнитный поток.
- Магнитная индукция B в рабочем воздушном зазоре (в зоне магнитных полюсов) имеет почти постоянное значение, что необходимо для получения примерно постоянных ЭДС в сторонах секций, находящихся под полюсами. Такое распределение магнитной индукции обеспечивается специальной формой полюсных наконечников.

ПОНЯТИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛЕЙ

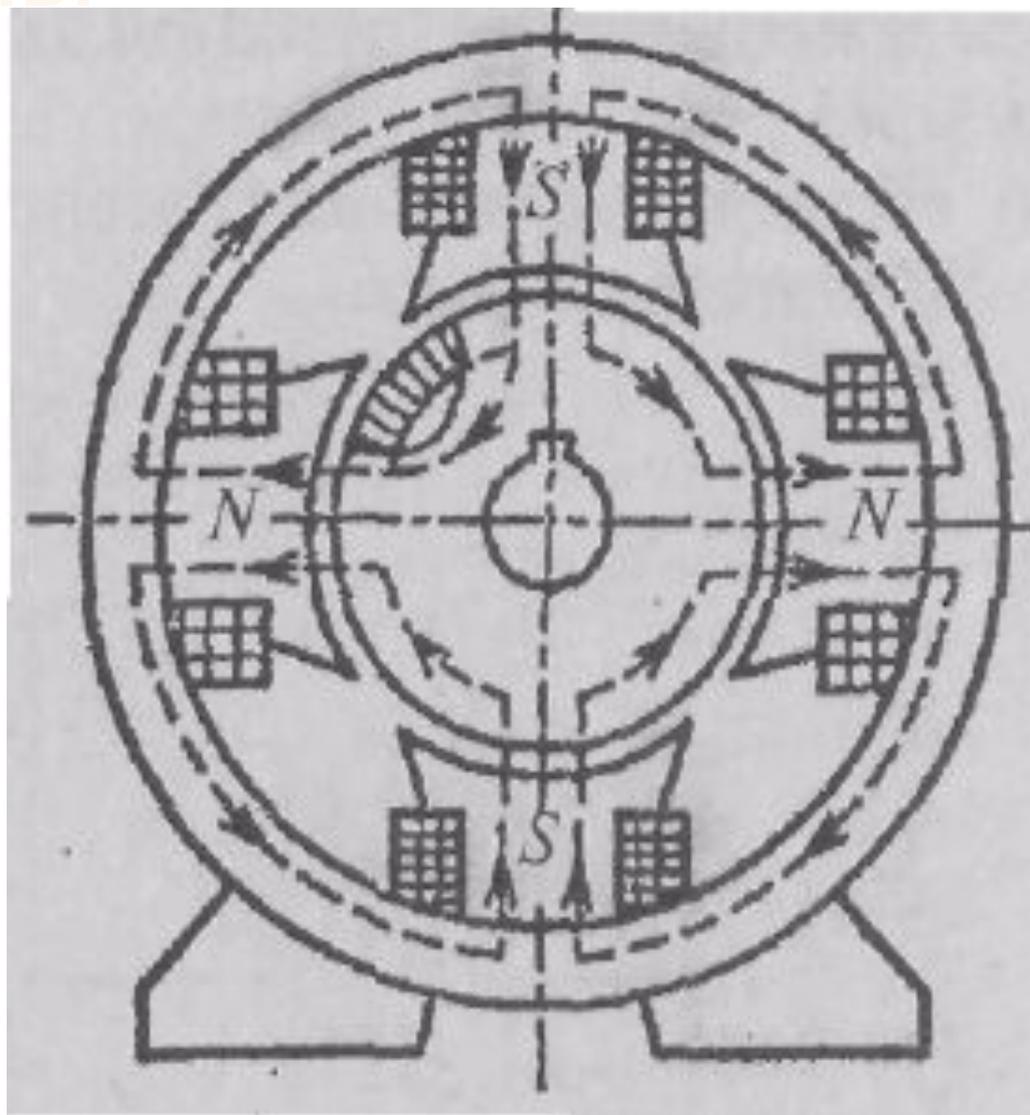
- Линии симметрии, делящие пространство между магнитными полюсами пополам, называются геометрическими нейтральными линиями или нейтралями, а линии, проходящие через точки, в которых индукция $B=0$ (строго между полюсами), — физическими нейтральными линиями машины.
- Дуга или расстояние между соседними нейтральными линиями называется полюсным делением.
- В генераторе физическая нейтраль повернута в сторону вращения якоря, а в двигателе — в обратную сторону.

ДОБАВОЧНЫЕ ПОЛЮСА В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА



- устанавливаются на геометрической нейтрали между главными полюсами и крепятся болтами к ярму статора. Обмотка добавочных полюсов включается последовательно с обмоткой якоря и намотана так, что создаваемое ею магнитное поле равно по величине и направлено против магнитного поля якоря

ПРОТЕКАНИЕ МАГНИТНОГО ПОТОКА В ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНОЙ МАШИНЫ



ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ГЛАВНАЯ И ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ЦЕПИ МАШИНЫ

- ⦿ *Электрическая* главная цепь машины состоит из обмотки якоря, коллектора и щеток. Все элементы этой цепи рассчитаны на большие токи, и именно в якоре происходит преобразование энергий.
- ⦿ К вспомогательной электрической цепи может быть отнесена обмотка возбуждения, которая, как правило, рассчитана на меньшие токи, но имеет значительное число витков.

МОДЕЛЬ ЯКОРА ДВУХПОЛЮСНОЙ МАШИНЫ И СХЕМА ЕГО ОБМОТКИ

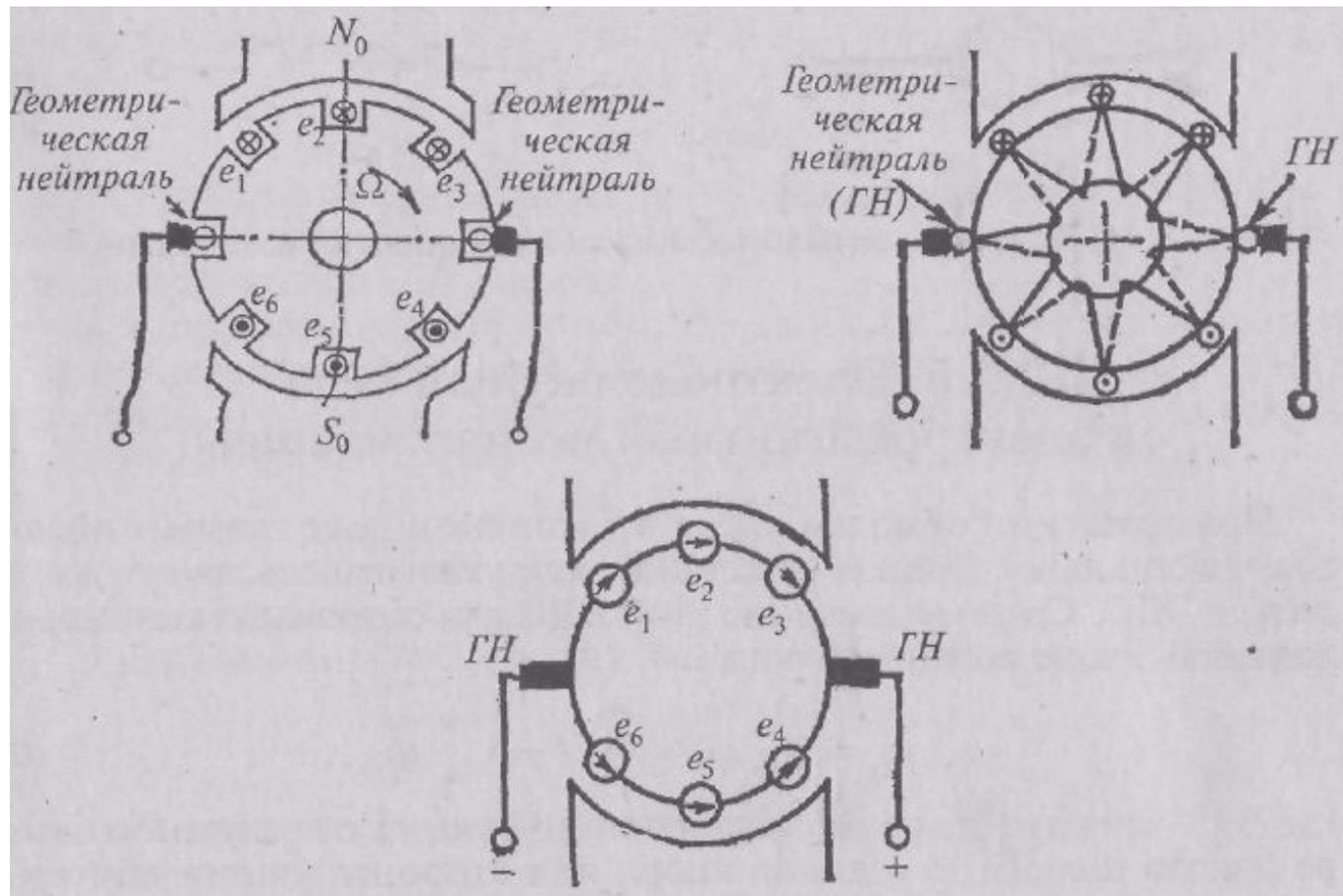
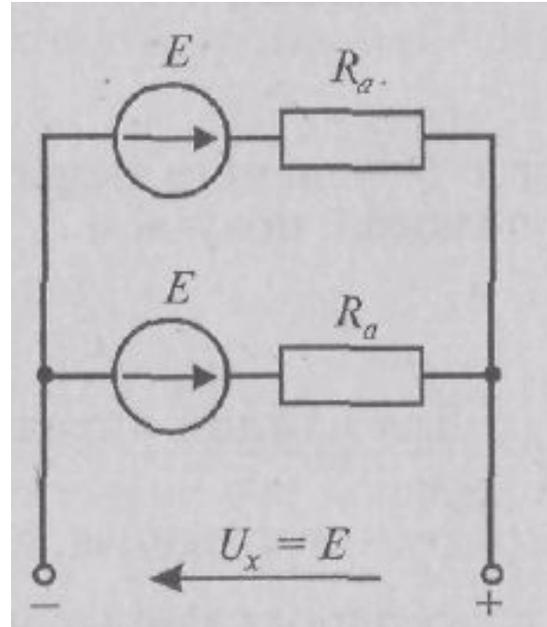
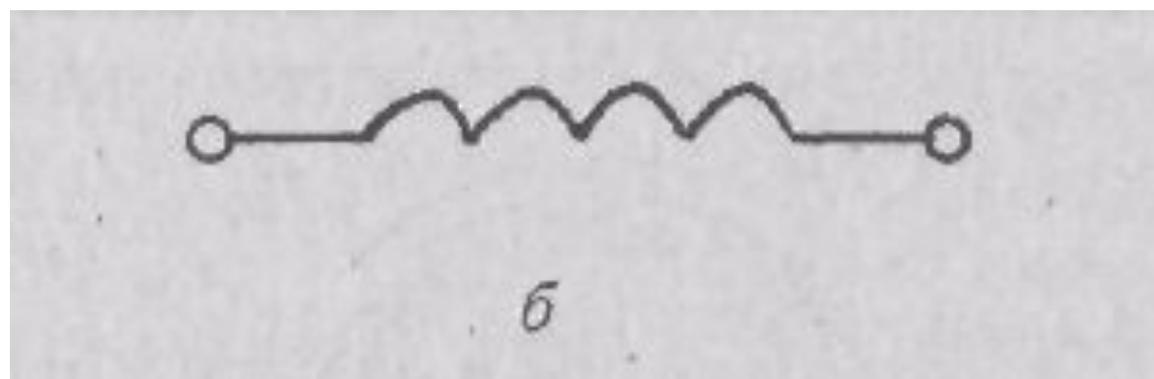
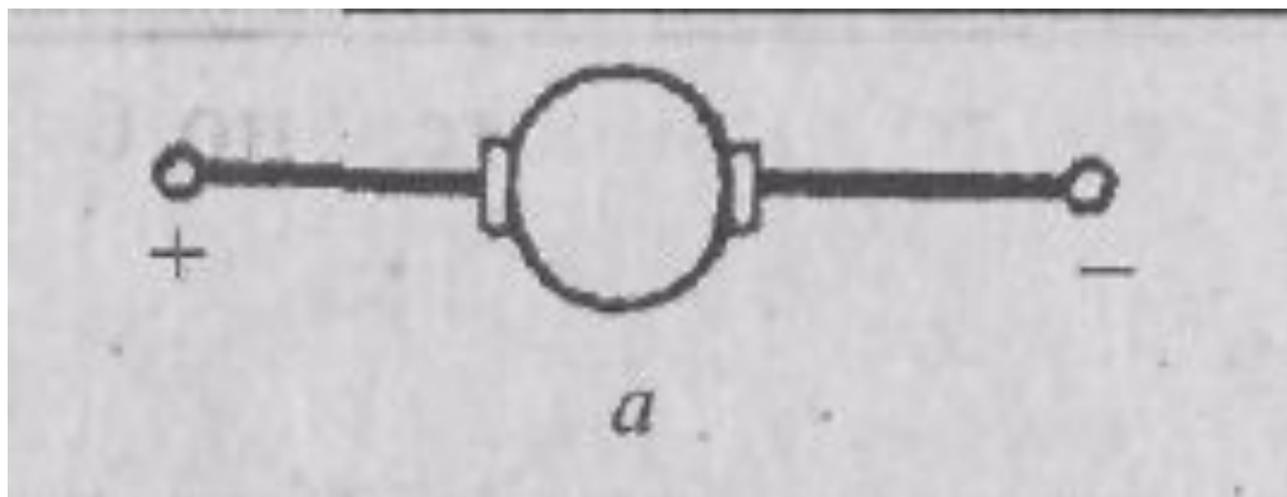


СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ОБМОТКИ ЯКОРЯ С ДВУМЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЕТВЯМИ



ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ЯКОРЯ И ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ



ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ МАШИНЫ

$$e_{\text{ср}} = B_{\text{ср}} l v = \frac{\Phi}{l\tau} l v = \frac{v}{\tau} \Phi,$$

- где $B_{\text{ср}}$ - среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре одного полюса; l – длина якоря или стороны секции обмотки якоря; v – линейная скорость пересечения линий магнитного поля или вращения якоря;
- τ - полюсное деление;
- Φ - магнитный поток одного полюса.

ЭДС ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

$$E = e_{\text{ср}} \frac{N}{2a} = \frac{v}{\tau} \Phi \frac{N}{2a},$$

$$v = \pi D n / 60;$$
$$\tau = \pi D / 2p,$$

$$E = \frac{\pi D}{60} n \frac{2p}{\pi D} \frac{N}{2a} \Phi = \frac{2pN}{602a} n \Phi.$$

$$E = c_E n \Phi.$$

- $2a$ – число параллельных ветвей обмотки якоря,
- D – диаметр якоря; n – частота вращения якоря;
- $2p$ – число пар полюсов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

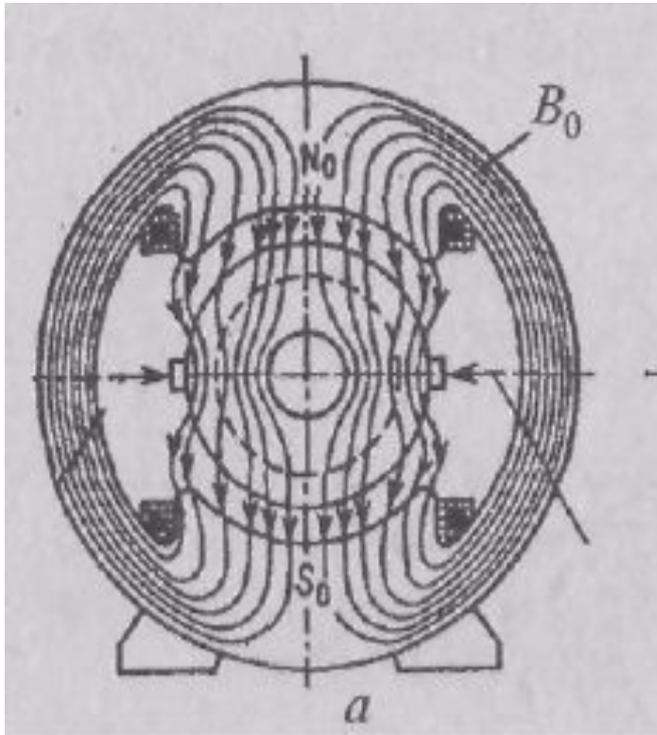
$$M = B_{\text{CP}} I_a l \frac{D}{2} N = \frac{pN}{2\pi a} I_a \Phi,$$

$$M = F_{\text{CP}} \frac{D}{2} N.$$

$$M = c_M I_a \Phi.$$

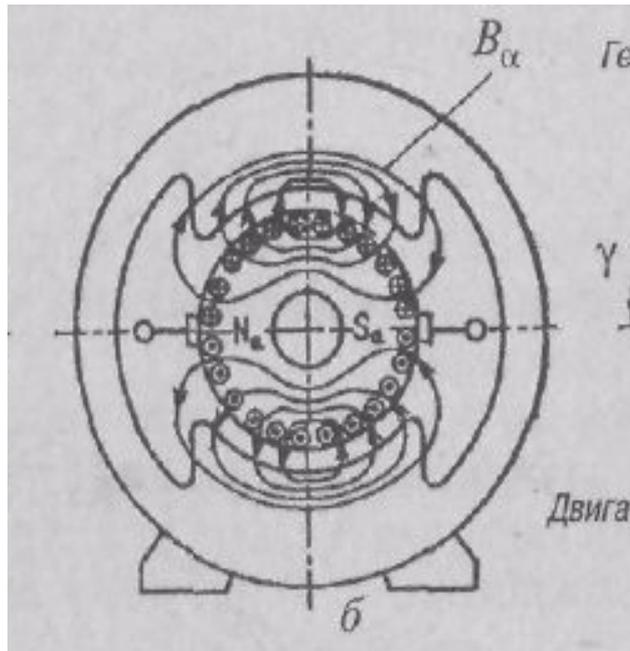
- Для генераторного режима работы машины M - это тормозящий момент.
- Для двигательного режима M - это действующий вращающий момент.

ОСНОВНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



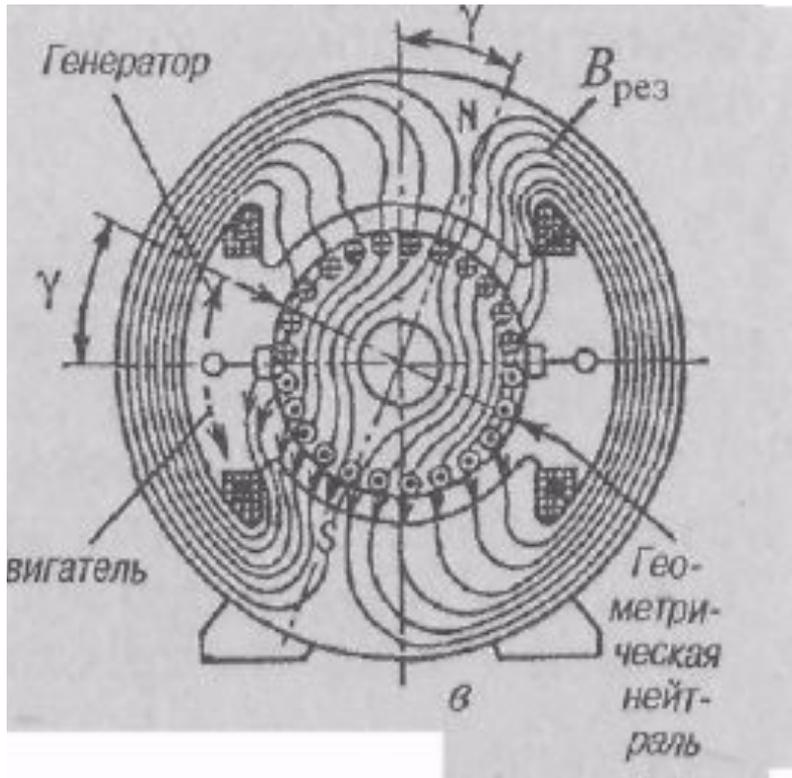
- При холостом ходе машины (отсутствует ток в обмотке якоря) ее основное магнитное поле с индукцией B_0 создается только главными полюсами. Это поле симметрично относительно оси полюсов и его ось совпадает с осью полюсов.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЯКОРЯ



- Когда же машина работает под нагрузкой, то по обмотке якоря проходит ток, и вокруг обмотки якоря создается свое магнитное поле, называемое полем якоря. Ось магнитного поля якоря совпадает с линией, соединяющей щетки, т. е. с геометрической нейтралью, и перпендикулярна оси главных полюсов.
- При вращении якоря распределение тока в проводниках якоря остается неизменным и поле якоря — неподвижным в пространстве. Магнитная индукция этого поля B_α пропорциональна току якоря.

РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ



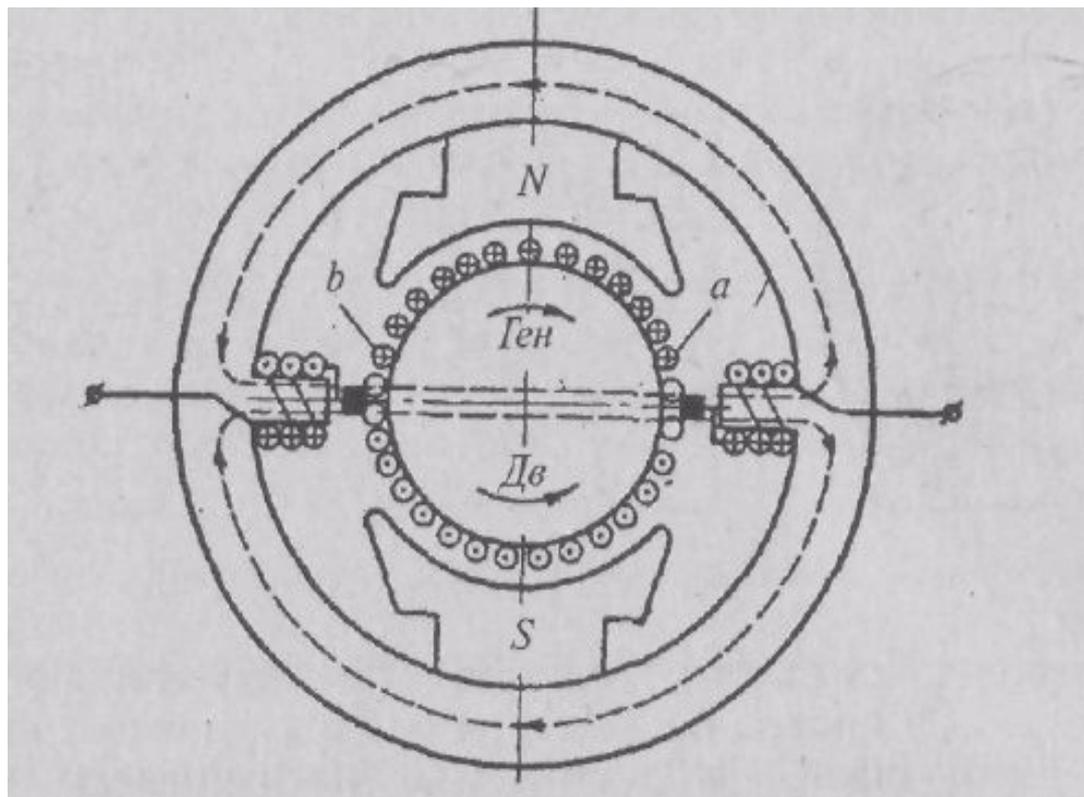
- В работающей под нагрузкой машине магнитное поле якоря накладывается на основное магнитное поле главных полюсов, и создается результирующее магнитное поле с индукцией $B_{рез}$. Это явление и называется *реакцией якоря*.

ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ МАШИНЫ

Негативное влияние:

- ⦿ возможно повышенное искрение под щетками и обгорание коллекторных пластин,
- ⦿ появление продольного размагничивающего магнитного поля.
- ⦿ Наиболее действенным и распространенным средством уменьшения влияния реакции якоря на работу машины является применение добавочных полюсов.
- ⦿ Магнитное поле добавочных полюсов призвано нейтрализовать магнитное поле якоря.

РАСПОЛОЖЕНИЕ И ВКЛЮЧЕНИЕ ДОБАВОЧНЫХ ПОЛЮСОВ



РАСПОЛОЖЕНИЕ И ВКЛЮЧЕНИЕ ДОБАВОЧНЫХ ПОЛЮСОВ

- Добавочные полюсы устанавливаются на геометрической нейтральной линии между главными полюсами и крепятся болтами к ярму статора.
- Их обмотка включается последовательно с обмоткой якоря и намотана так, что создаваемое ею магнитное поле равно по величине и направлено против магнитного поля якоря

ФУНКЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ

Дополнительные полюсы выполняют свои функции во всех режимах работы машины:

- при изменении нагрузки одновременно изменяются ток и магнитное поле якоря, ток и поле дополнительных полюсов;
- при переходе машины из режима генератора в режим двигателя одновременно изменяется направление тока и поля якоря и направление тока и поля дополнительных полюсов и т. д.

СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

- Под возбуждением электрической машины постоянного тока понимают создание в ней магнитного поля, необходимого для наведения в обмотке якоря ЭДС заданной величины (генератор) или создания необходимого вращающегося момента якоря (двигатель). Основное магнитное поле в машинах создается главными полюсами и расположенными на них катушками обмотки возбуждения.

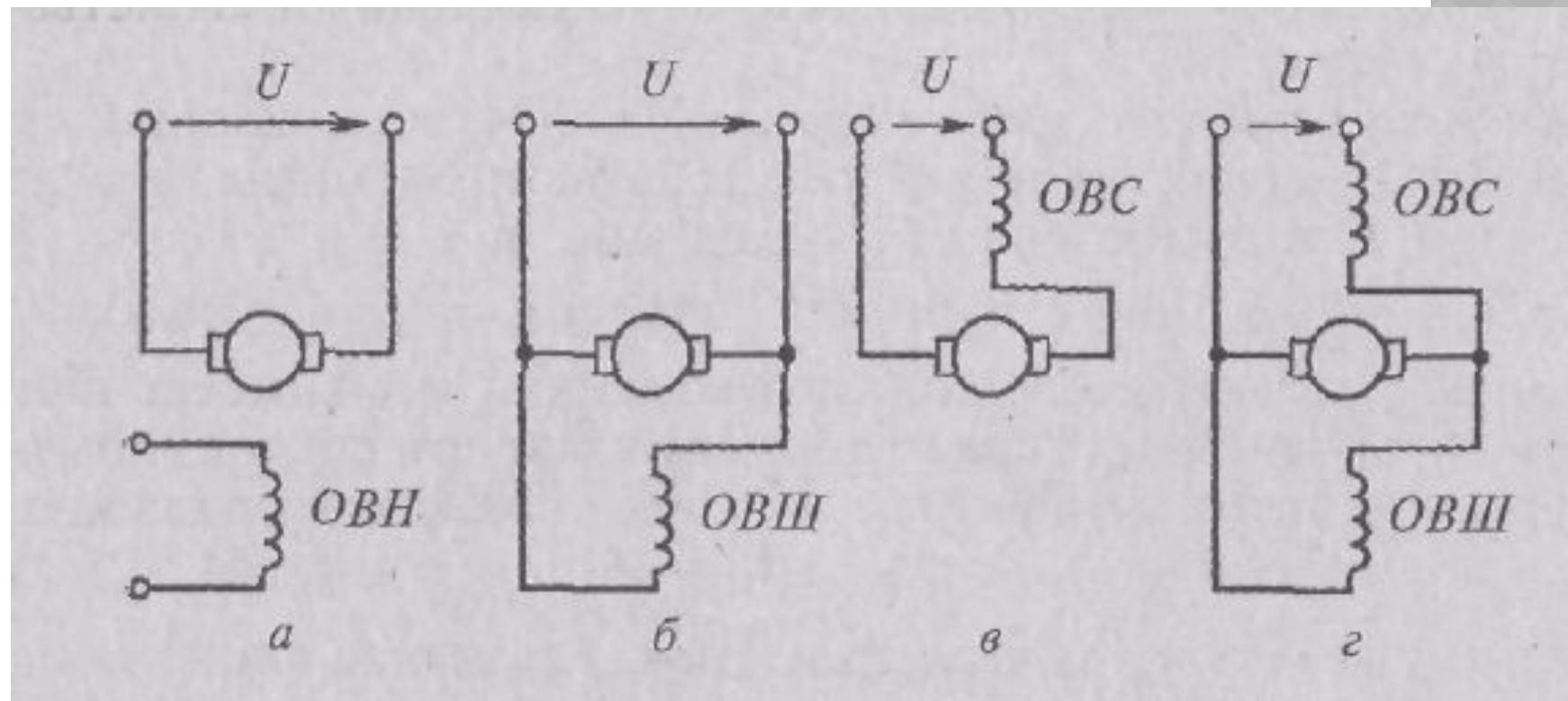
СПОСОБЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОБМОТОК

Обмотка возбуждения и обмотка якоря в машинах могут быть подключены к сети различными способами:

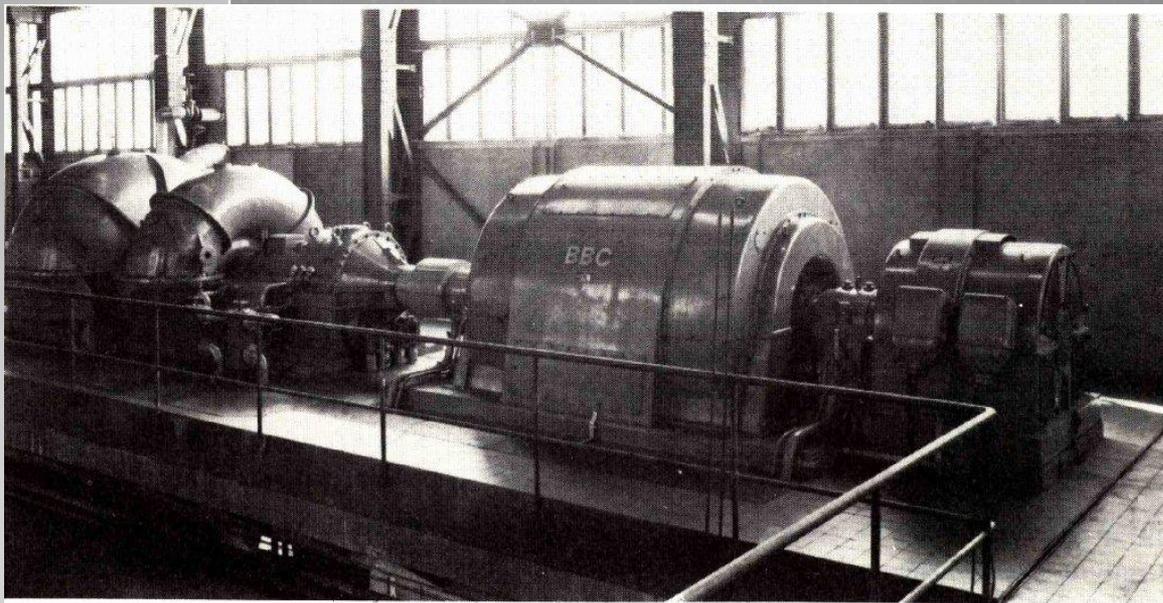
- ⊙ независимо одна от другой,
- ⊙ параллельно,
- ⊙ Последовательно,
- ⊙ параллельно-последовательно (смешанно).

В зависимости от способа соединения этих обмоток различают четыре типа машин постоянного тока,

СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОБМОТОК МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА



СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

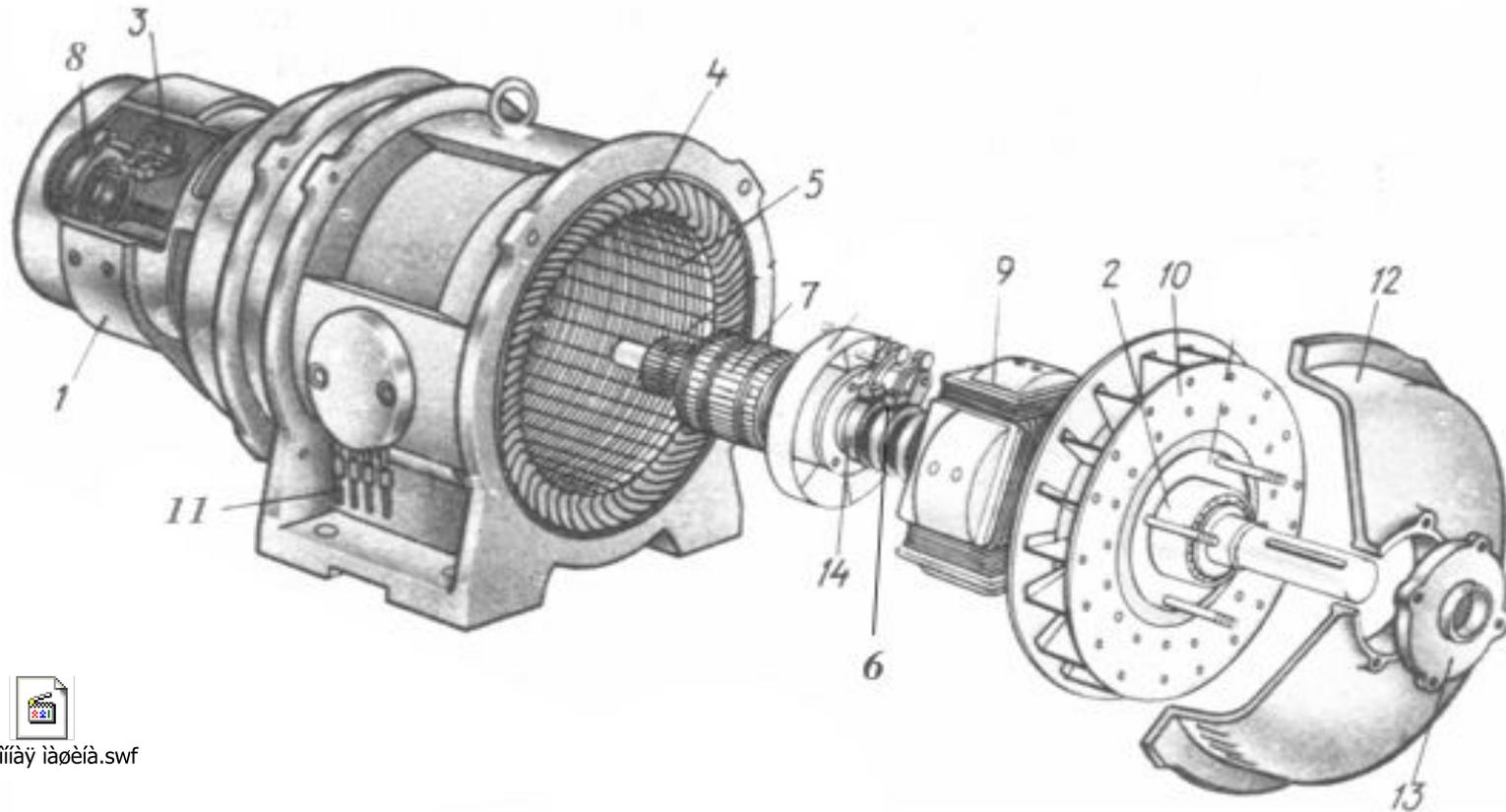


Синхронные машины применяют главным образом в качестве генераторов, реже в качестве электродвигателей.

Синхронные машины выпускают с двумя модификациями роторов.

При частотах вращения до 1500 об/мин применяют явнополюсные роторы, при больших частотах вращения - неявнополюсные.

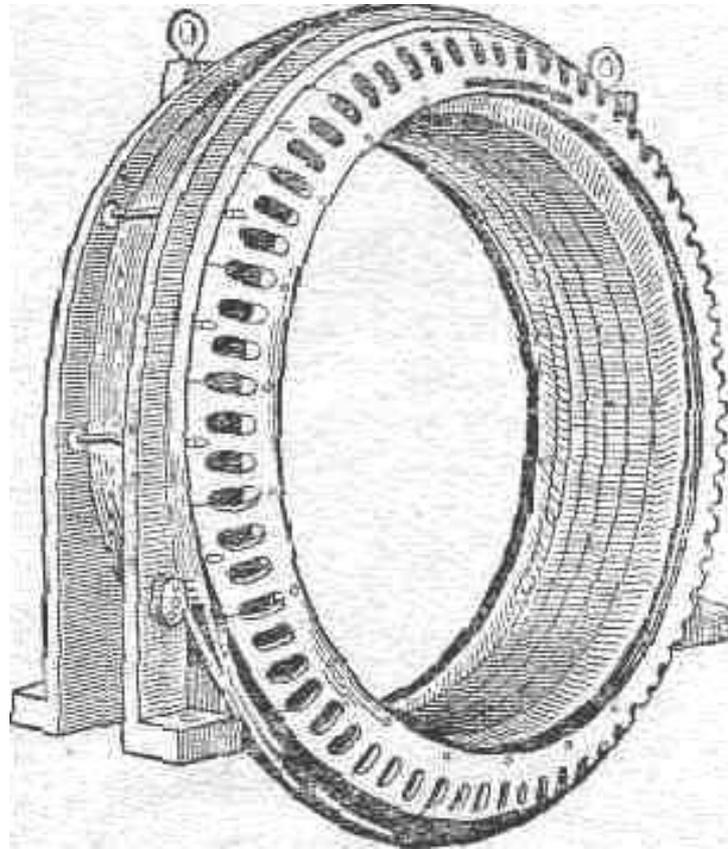
УСТРОЙСТВО СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



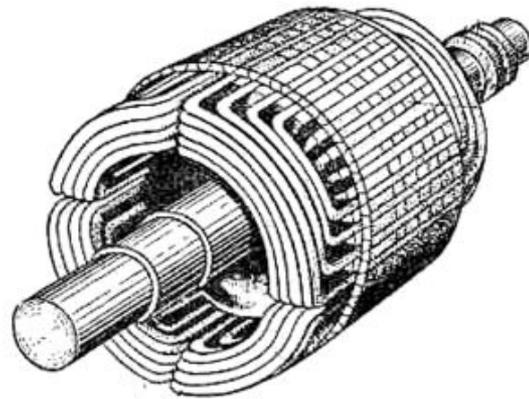
ñéíõðííàÿ ààøèà.swf

1 - станина возбудителя, 2 - подшипник, 3 - щеткодержатели, 4 - обмотка статора, 5 - сердечник статора, 6 - щетки, 7 - якорь возбудителя, 8 - щеточная траверса, 9 - полюса, 10 - вентилятор, 12 - подшипниковый щит, 13 - крышка, 14 - контактные кольца, 11 - выводы обмотки статора

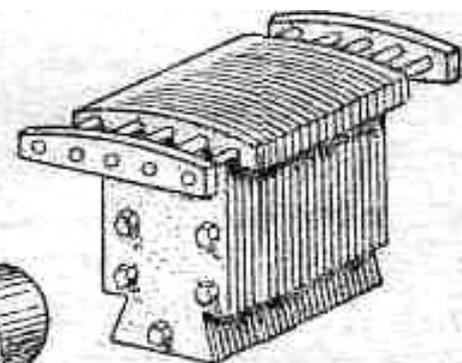
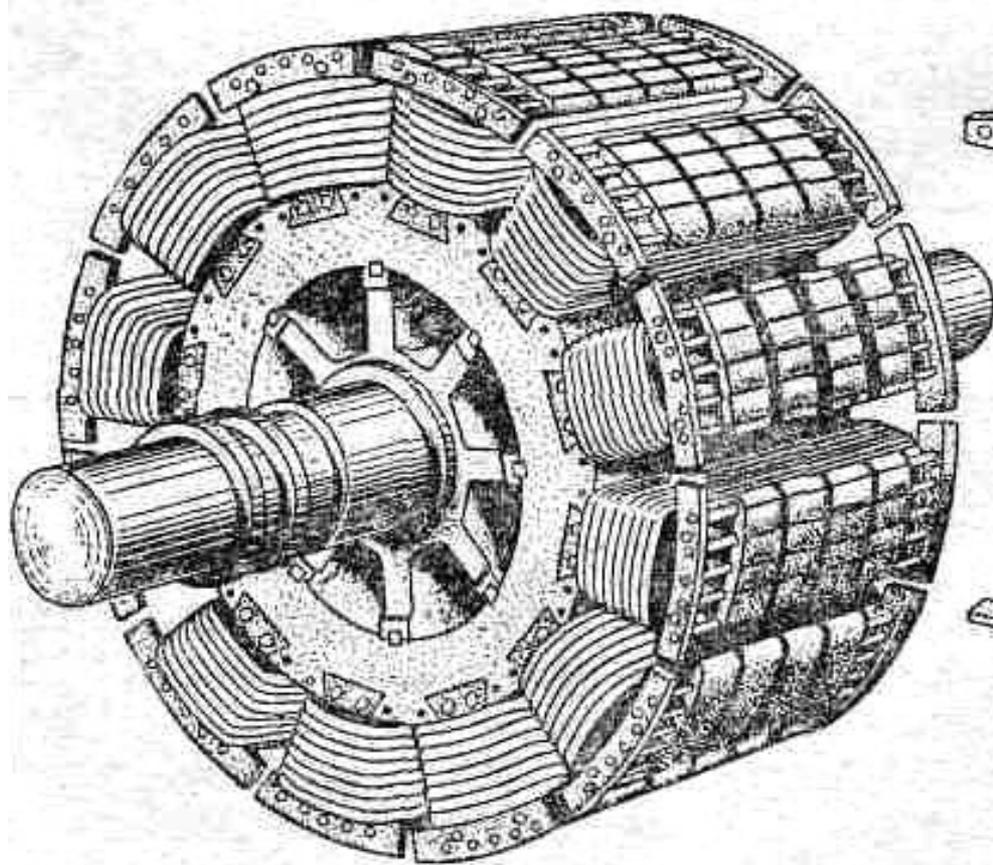
СТАТОР СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



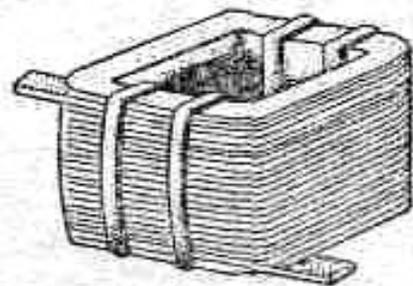
НЕЯВНОПОЛЮСНЫЙ РОТОР СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



ЯВНОПОЛЮСНЫЙ РОТОР СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

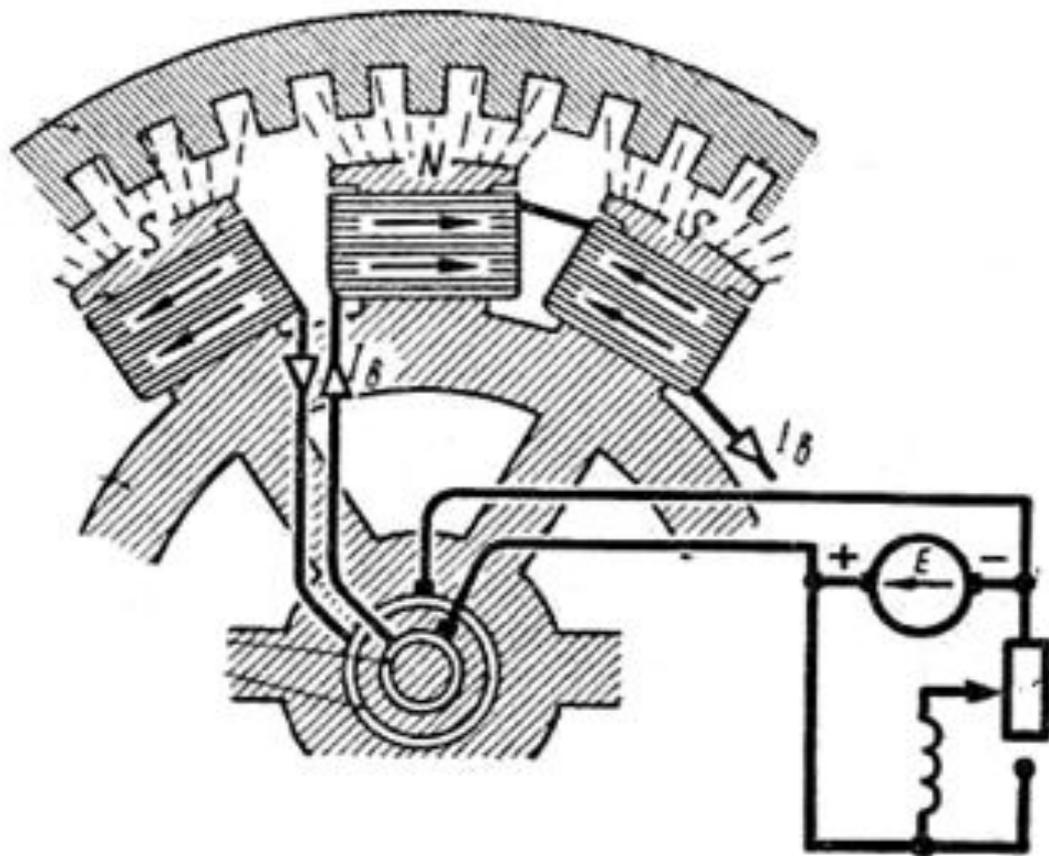


*Полус
с успокоительной
клеткой*

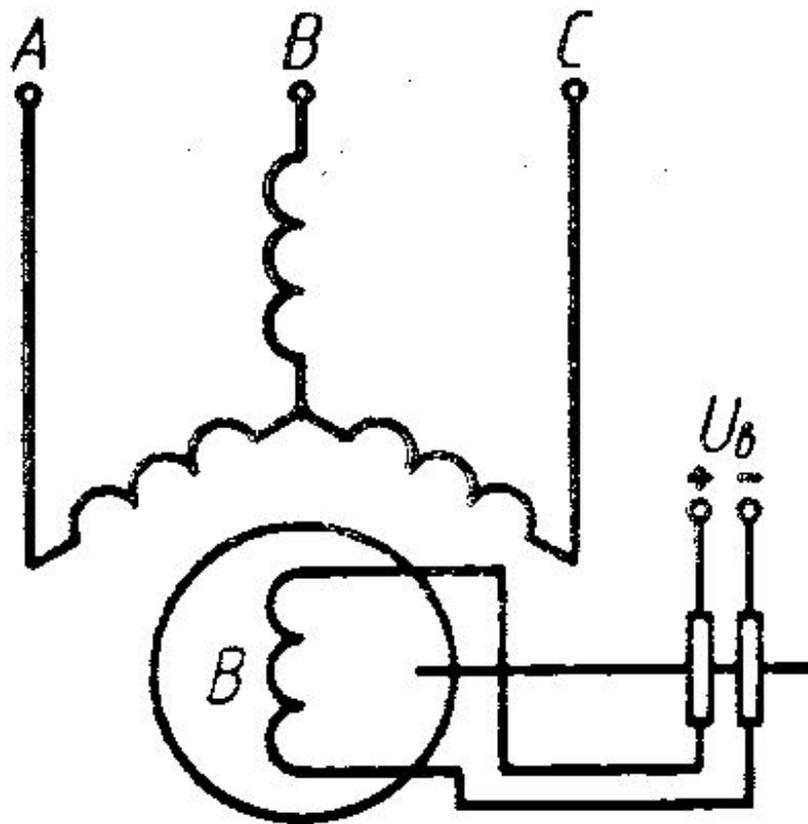


Обмотка полюса

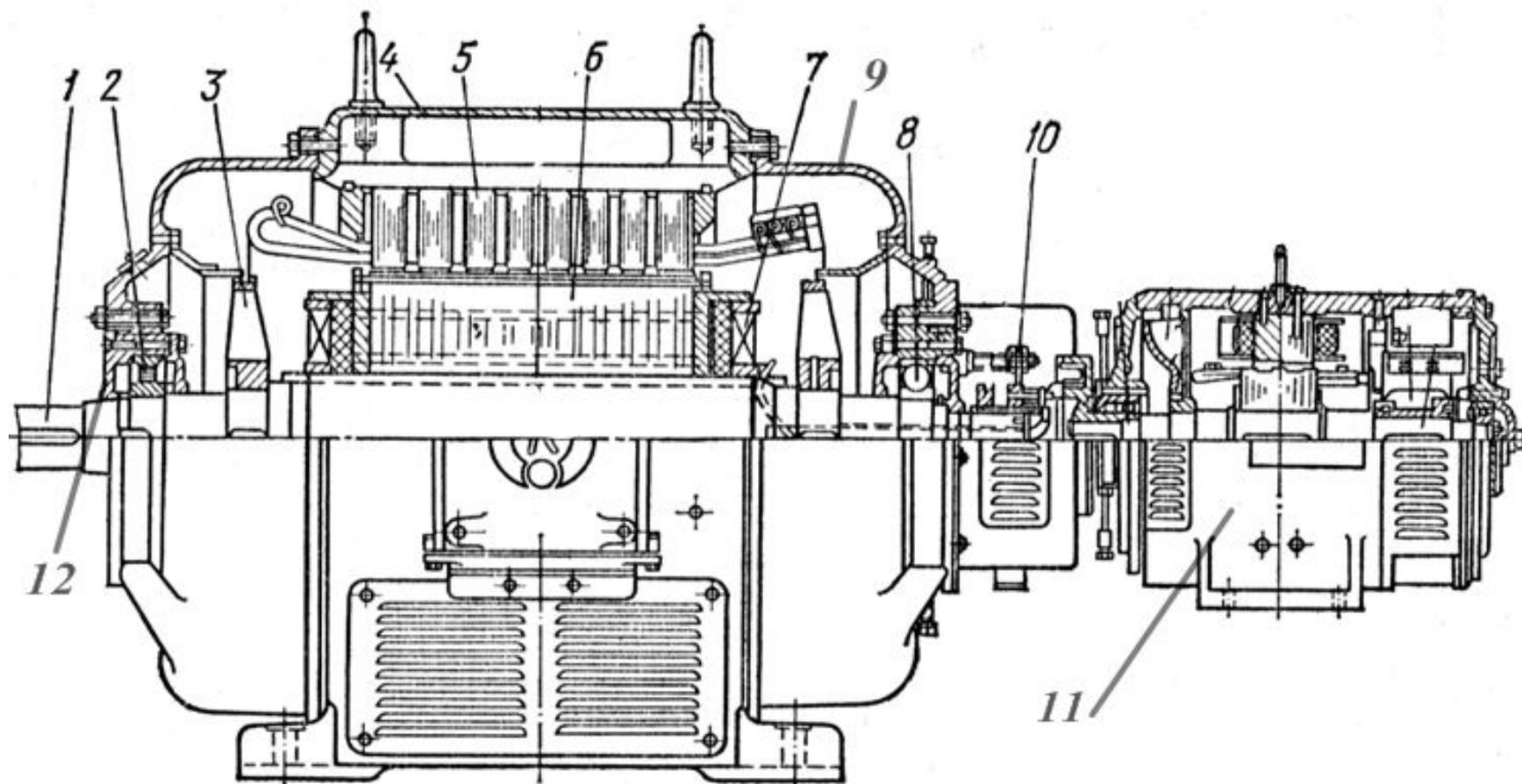
СХЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



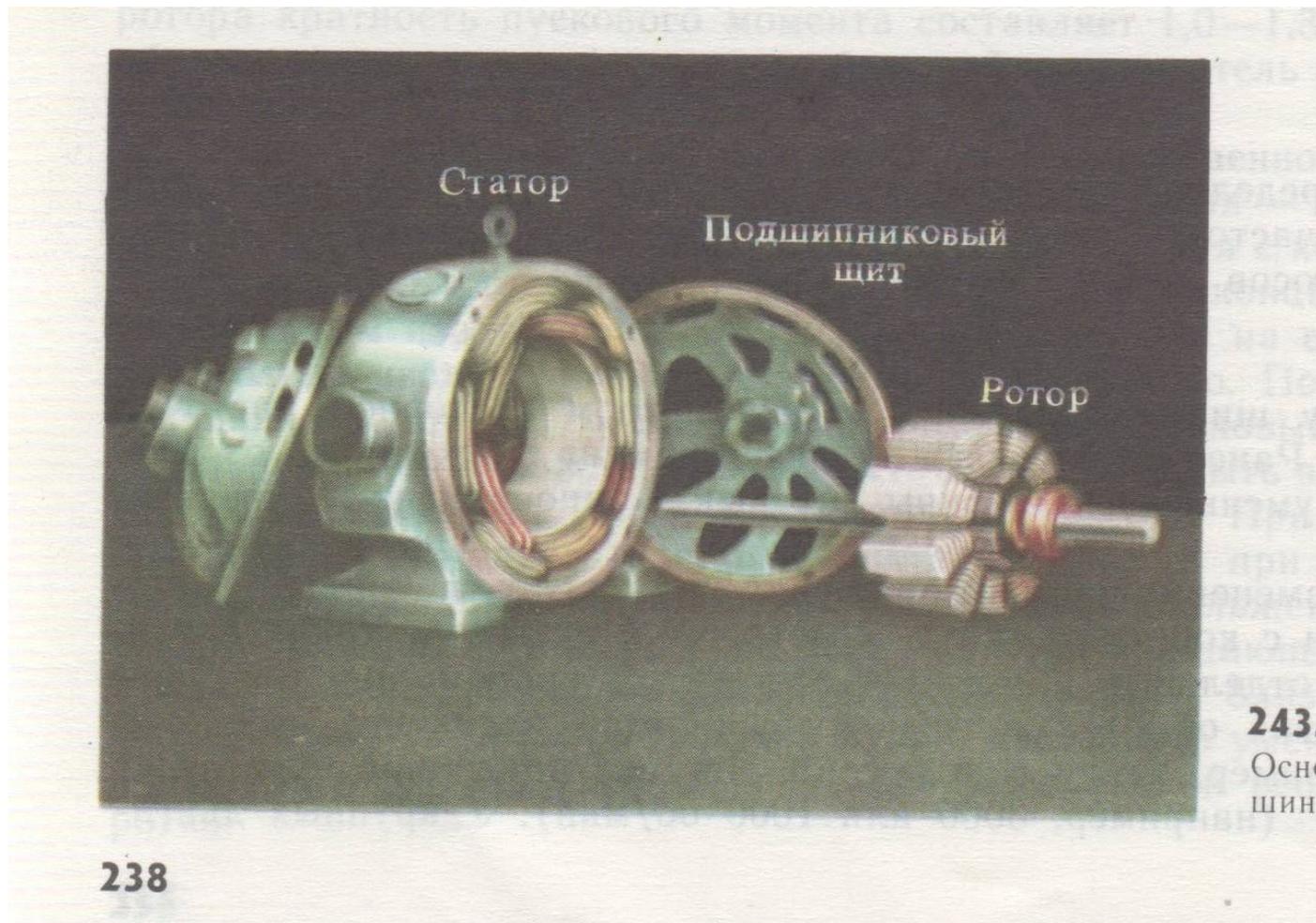
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

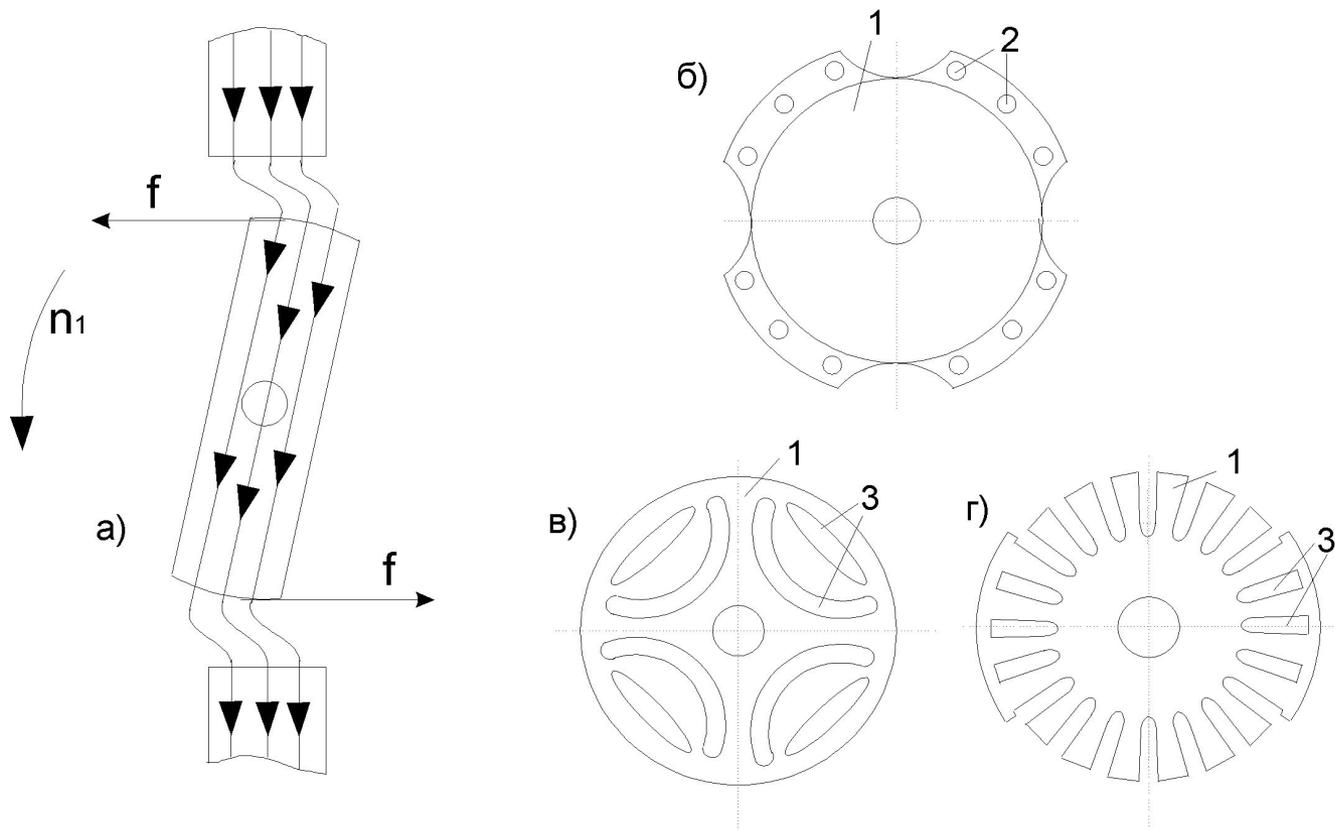


ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



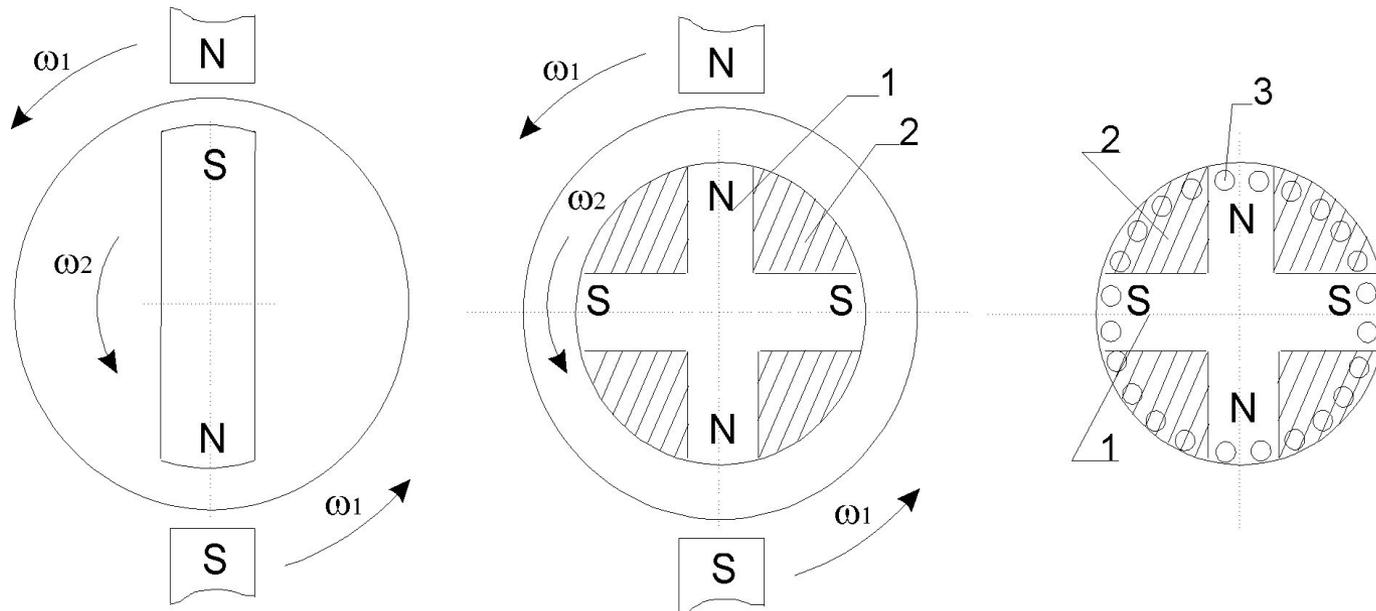
СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

1) Реактивные синхронные двигатели



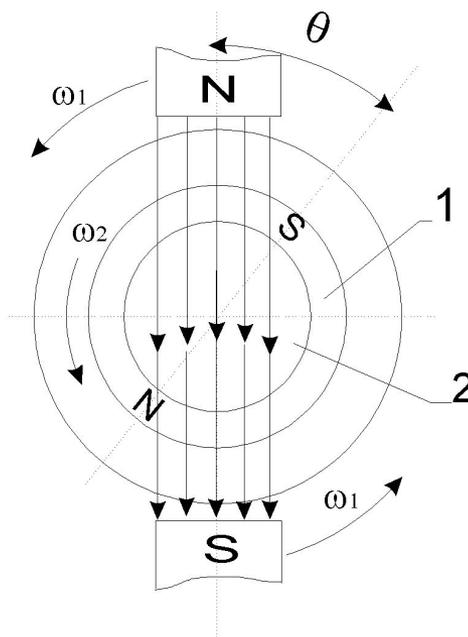
СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

2) Синхронные двигатели с постоянными магнитами



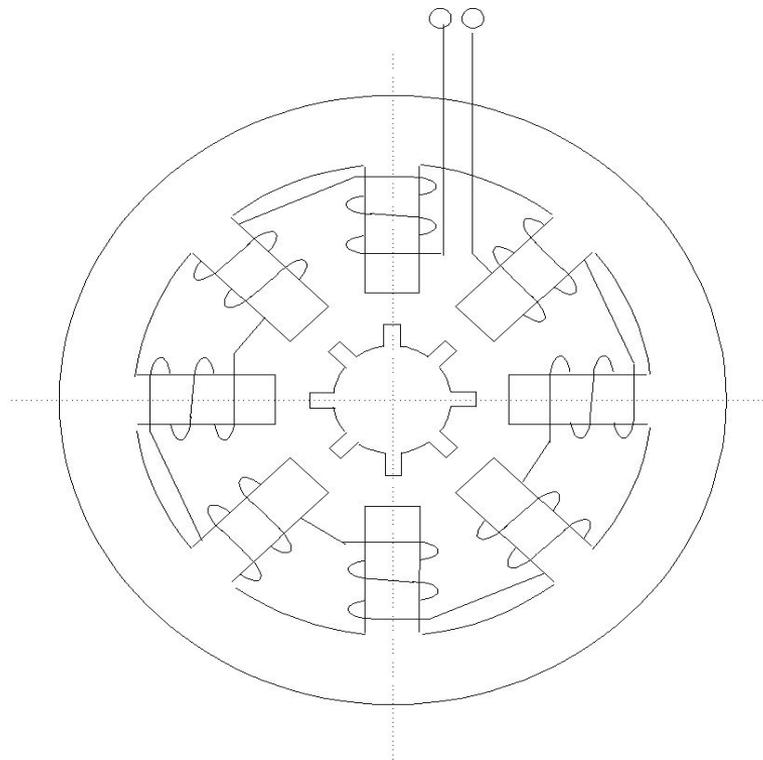
СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

3) Гистерезисные синхронные двигатели



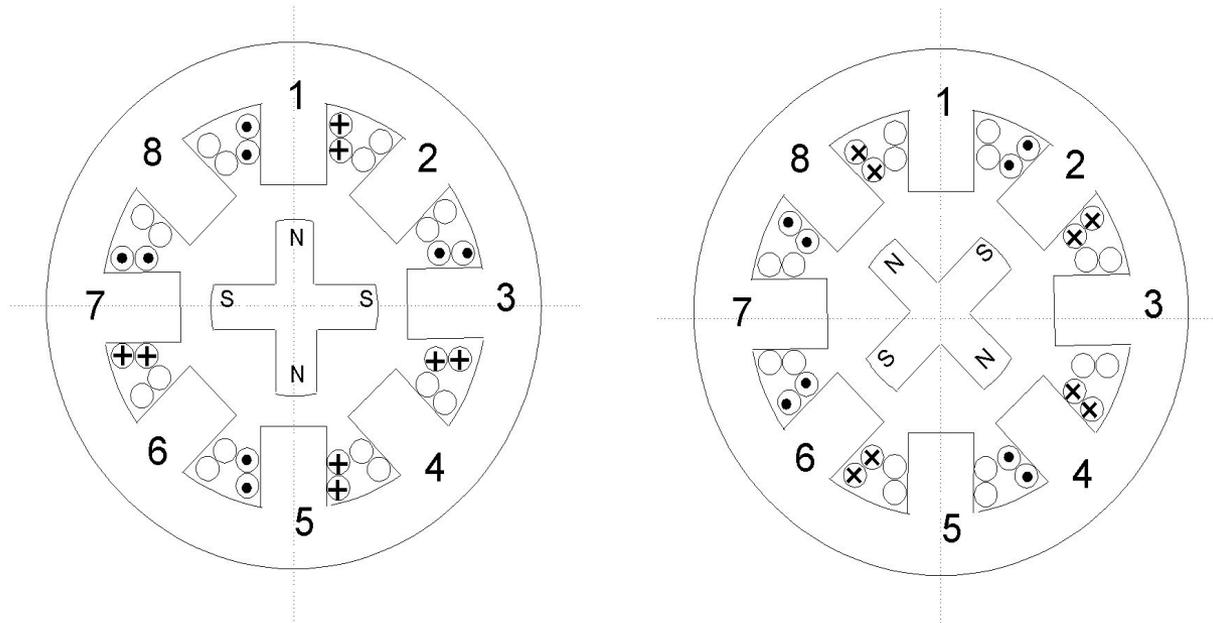
СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

4) Тихоходные синхронные двигатели



Синхронные машины специального исполнения

5) Шаговые синхронные двигатели



АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

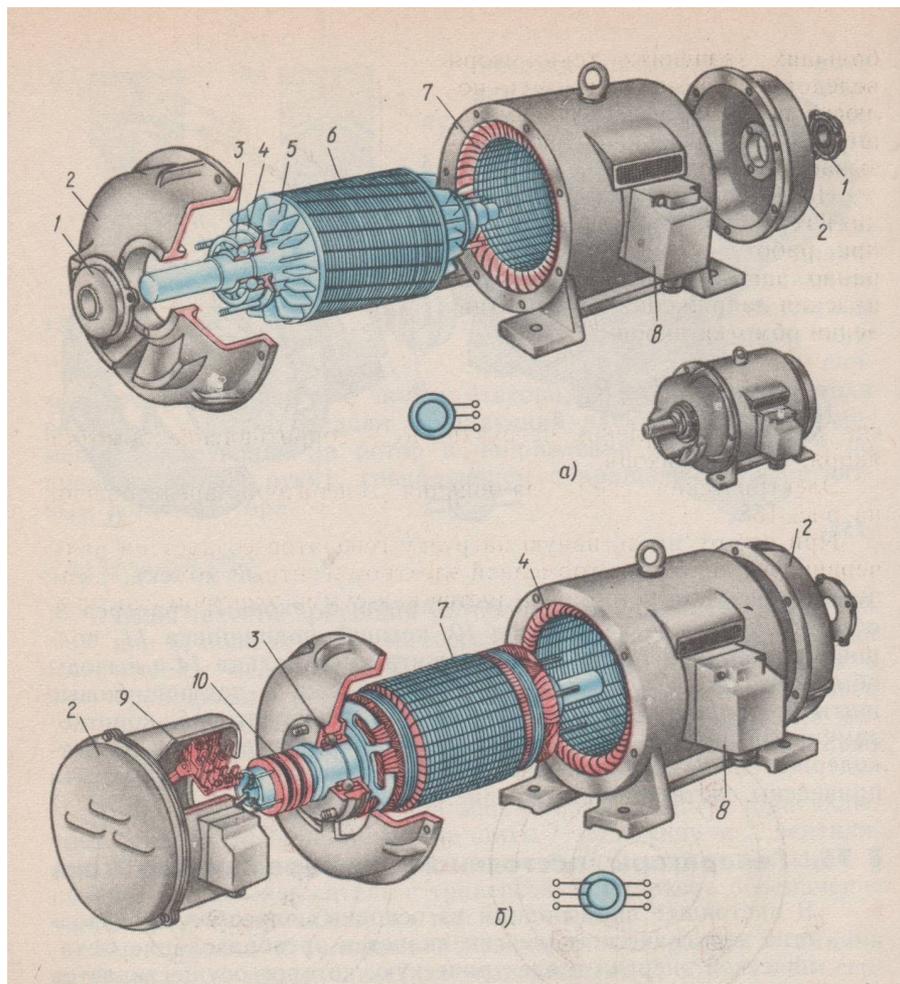
УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ И КОНСТРУКЦИЯ ЕЕ ОСНОВНЫХ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Асинхронные машины используют в основном в качестве электрических двигателей и крайне редко в качестве генераторов.

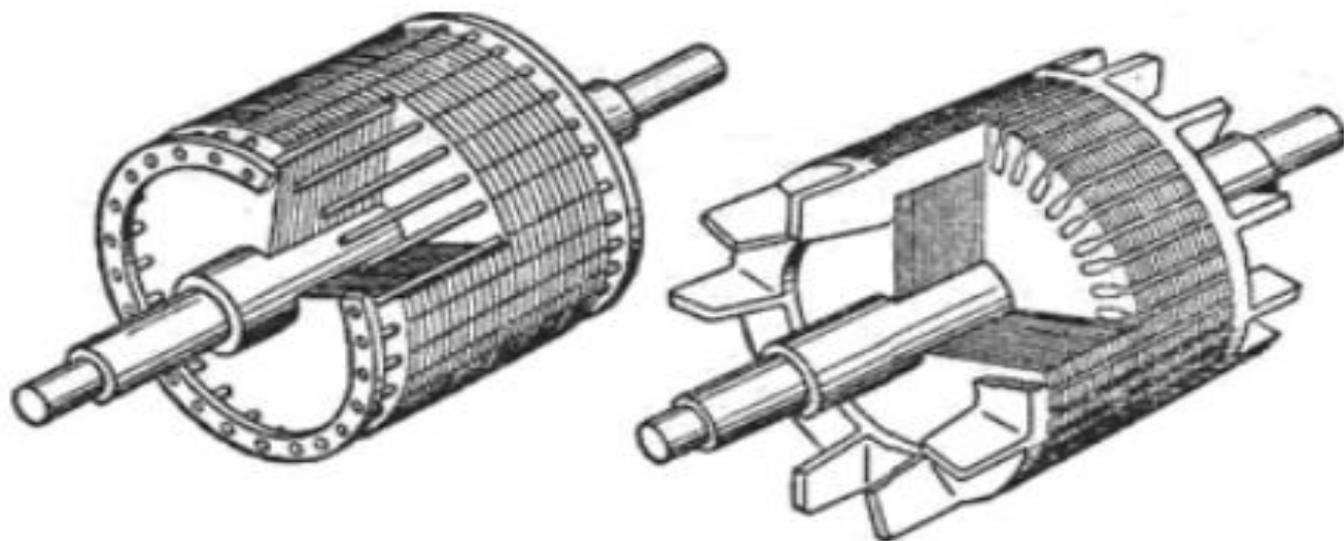
Асинхронной называют электрическую машину переменного тока, у которой частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля статора.

Асинхронные двигатели бывают двух типов: с *короткозамкнутым* и *фазным* ротором.

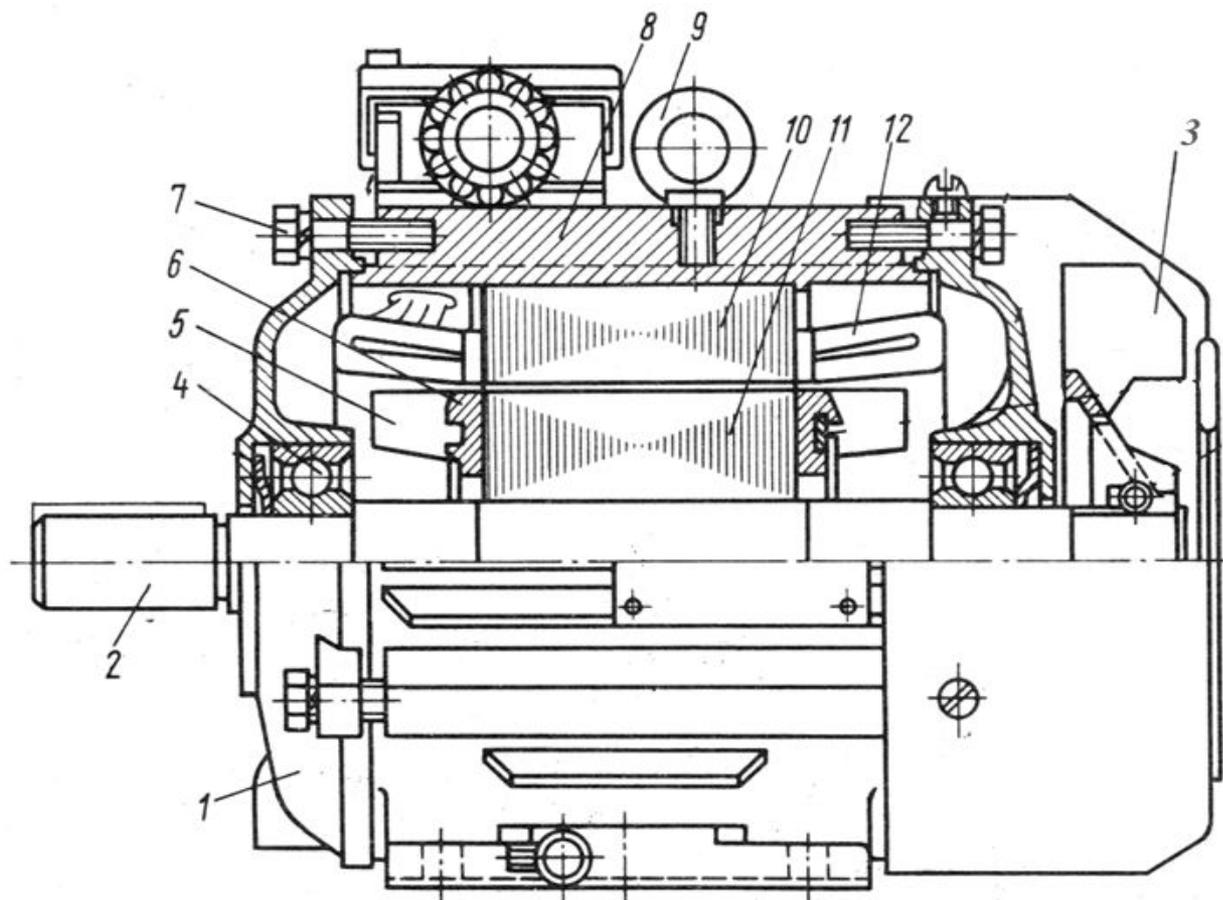
УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ



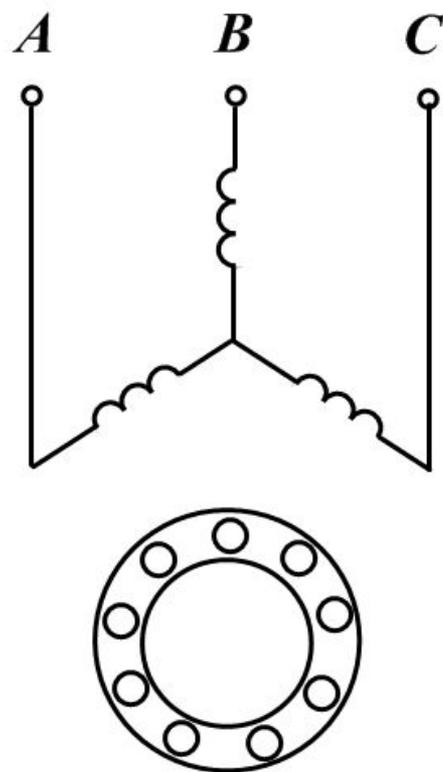
КОНСТРУКЦИИ РОТОРОВ АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ



АСИНХРОННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ



ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

я, с асинхронной
ется такой, чтобы
током I , равным
осей. Ток, индуци
ент и меньше ско
в минуту. Частота
принято характе-

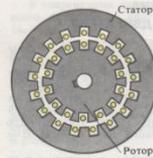
(95)

бленный для вра
с места. В течение
в сторону враще
валения вращения
помощью какого
с, т. е. синхронно.
ется преодолевать
ду осми поля и
чем больше тор
ей, магнит остано
т.
двигателей ($n = p$),
ая электромагнит

ННОГО

двигателем пере
в 1888 г., но до
придал русский
-статора (от лат.
-ротог — вращаю-

интервала собран
радиной 0,35 мм,
скажиен пазами,
231). Число ка
3, 12 и т. д.),
обранный так же,
В большинстве
из алюминиевых
стержей замь
же материала.



230. Устройство асинхронной машины



231. Асинхронный двигатель в разобранном виде

Реже ротор снабжается трехфазной катушечной обмоткой (для двигателей большой мощности), выполняемой изолированным проводом. В этом случае на валу ротора укрепляются три металлических контактных кольца, изолированных от вала (рис. 233). Трехфазная обмотка ротора соединяется на самом роторе в звезду, а свободные концы фаз подводятся к контактным кольцам. На кольца наложены щетки, установленные в неподвижных щеткодержателях. Через кольца и щетки фазная обмотка замыкается на пусковой реостат.



232. Короткозамкнутый ротор и его обмотка в виде колеса



233. Фаный ротор (с контактными кольцами)



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

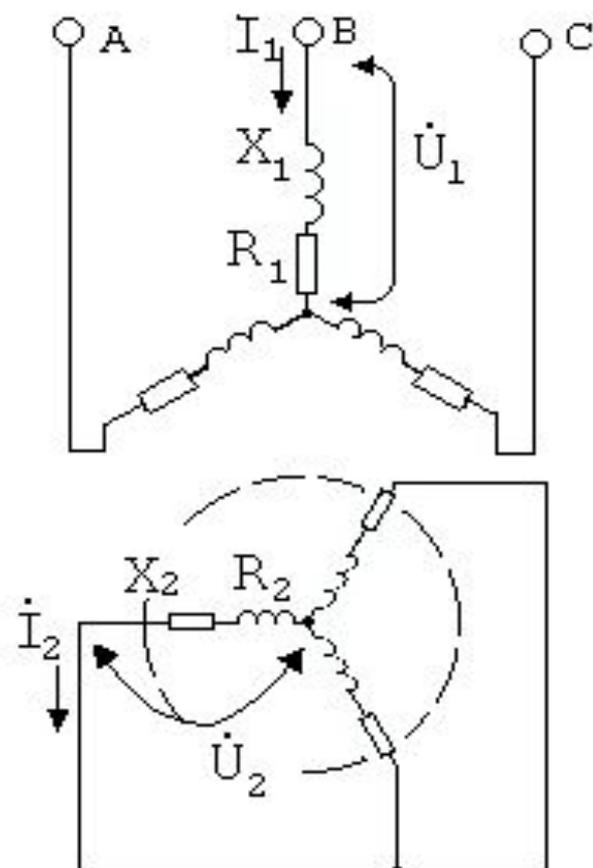


СХЕМА ЭКВИВАЛЕНТА И ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ БЕЗ УЧЁТА АКТИВНЫХ ПОТЕРЬ В МАГНИТОПРОВОДЕ

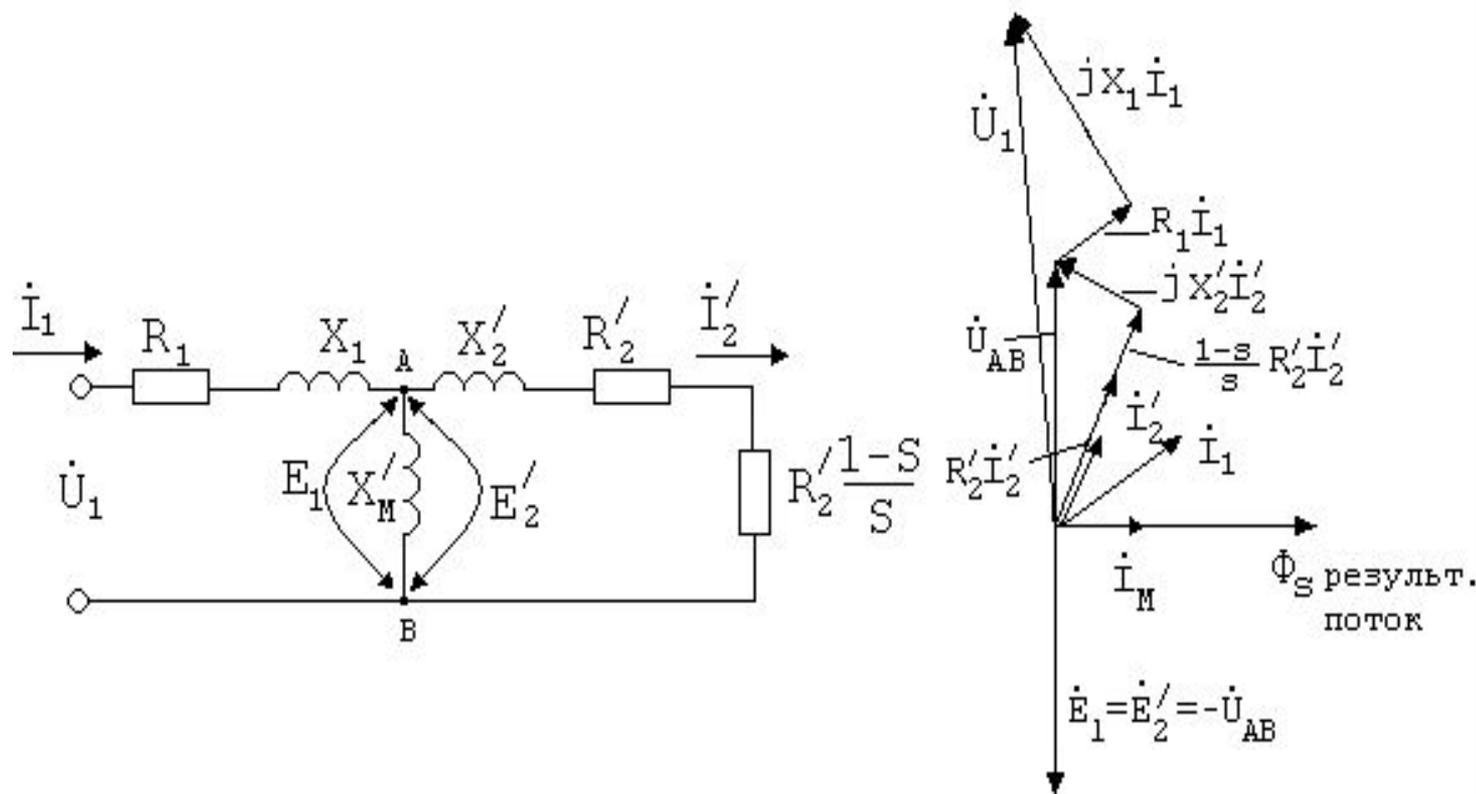
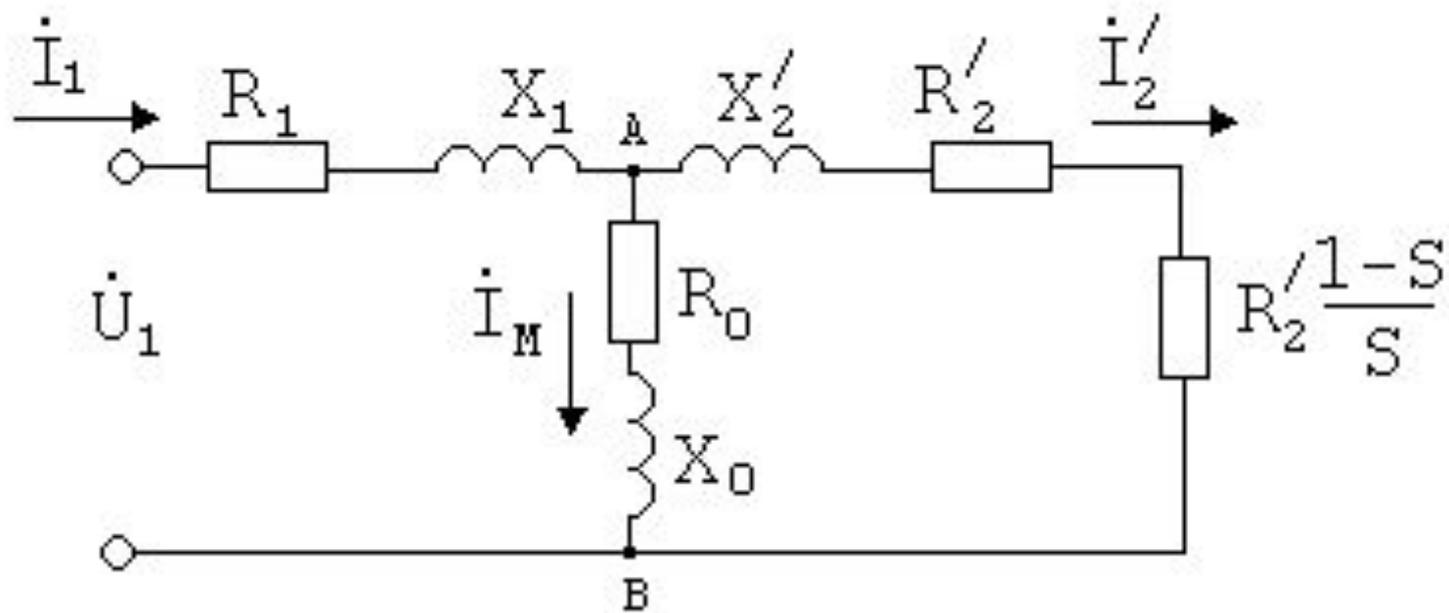
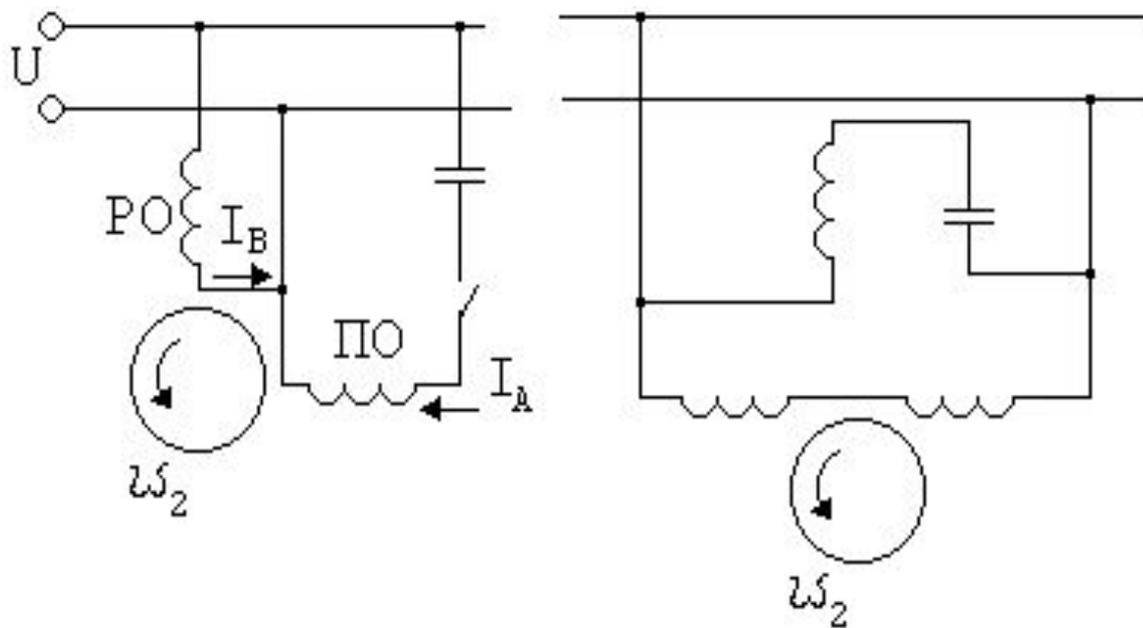


СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ И ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С УЧЁТОМ АКТИВНЫХ ПОТЕРЬ В МАГНИТОПРОВОДЕ



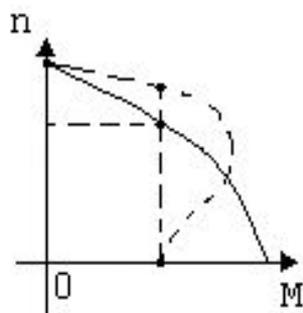
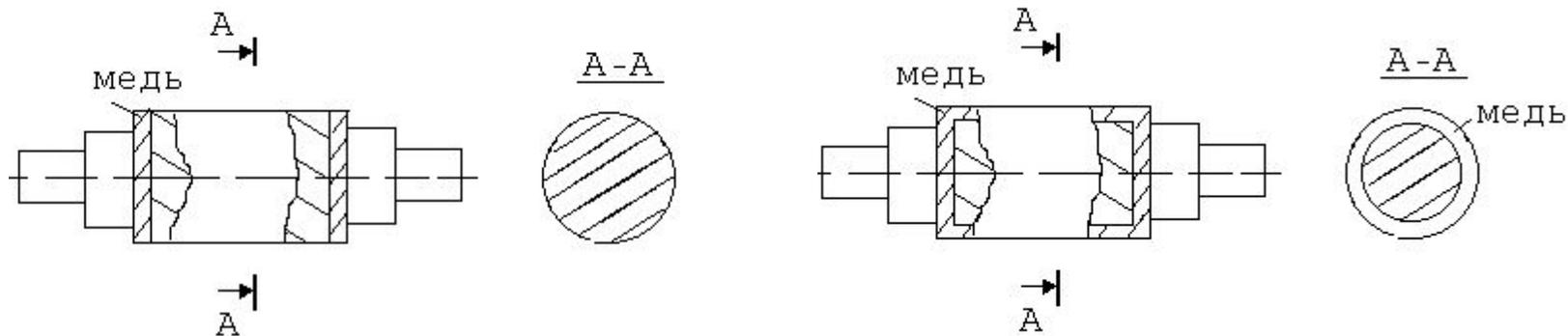
АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

1) Конденсаторные асинхронные двигатели



АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

2) Асинхронные двигатели с массивным ротором



АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

4) Линейные асинхронные двигатели

