

Трансформаторы

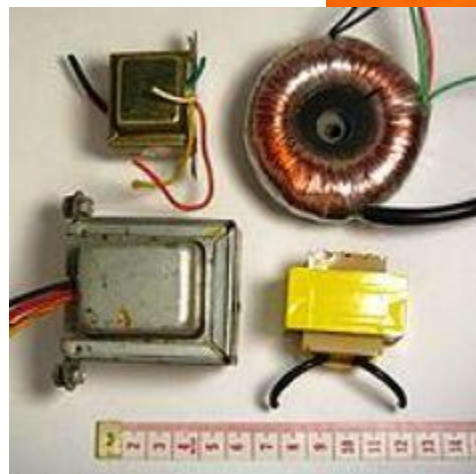
§1. Принцип действия и устройство однофазного трансформатора

ТРАНСФОРМАТОРЫ - *электротехнические устройства, в которых электрическая энергия переменного тока от одной неподвижной катушки ПЕРЕДАЕТСЯ другой неподвижной же катушке, НЕ связанной с первой электрически.*

Звеном, передающим энергию от одной катушки другой, является магнитный поток,

□ сцепляющийся с обеими катушками и

□ непрерывно меняющийся по величине и по направлению.



Трансформатор –

это электромагнитный аппарат, который преобразует электрическую энергию переменного тока, имеющую одни величины, в электрическую энергию с другими величинами.

В трансформаторе ПРЕОБРАЗУЮТСЯ:

- **напряжение,**
- **ток,**
- **начальная фаза.**

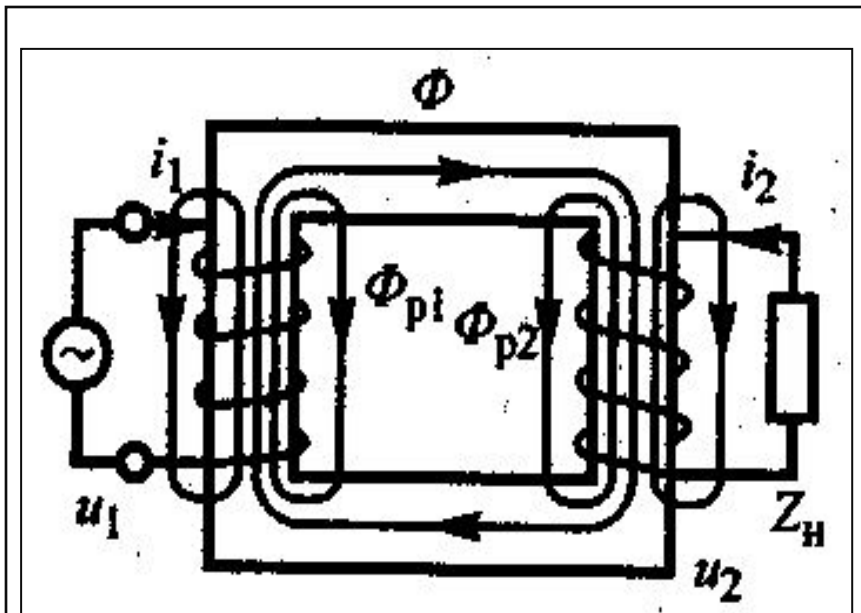
НЕИЗМЕННОЙ остается *частота тока*.

Простейший трансформатор имеет

□ магнитопровод (сердечник),

□ и обмотки.

По количеству обмоток РАЗЛИЧАЮТ трансформаторы двухобмоточные и многообмоточные.



*Устройство
двухобмоточного
трансформатора*

Обмотка, к зажимам которой подводится напряжение, называется **ПЕРВИЧНОЙ.**

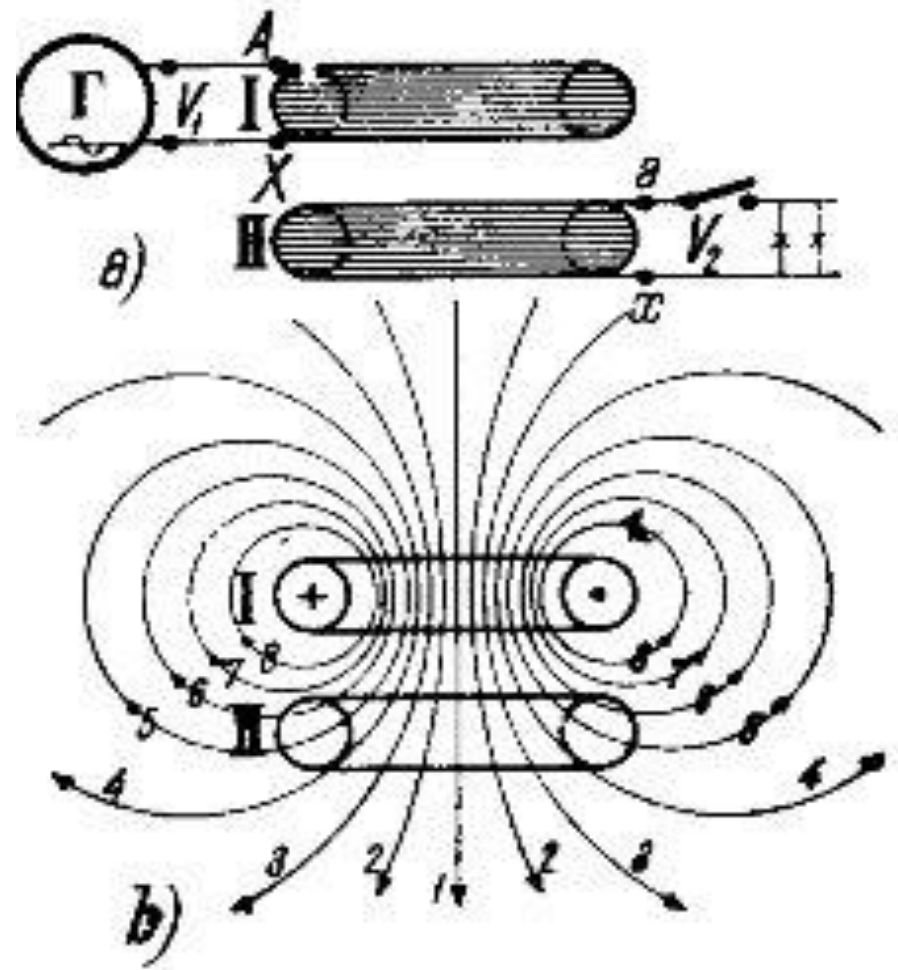
На зажимы **ВТОРИЧНОЙ обмотки включается потребитель Z_H .**

1.1. Работа вхолостую

Простейший трансформатор, состоит из двух катушек I и II, одна над другой.

К катушке I (первичная обмотка) - переменный ток от генератора.

С катушкой II (вторичная обмотка) соединяется цепь приемниками электрической энергии.

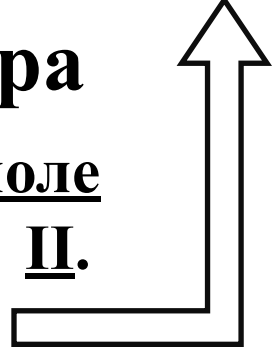


Принцип действия трансформатора

Ток в первичной катушке I => создается магнитное поле

=> силовые линии пронизывают катушки I и II.

Примерная картина распределения силовых линий



Таким образом катушка II является магнито связанной с катушкой I при посредстве магнитных силовых линий.

По закону электромагнитной индукции при изменении пронизывающего катушку магнитного потока (за счет переменного тока) в катушке индуцируется переменная ЭДС.

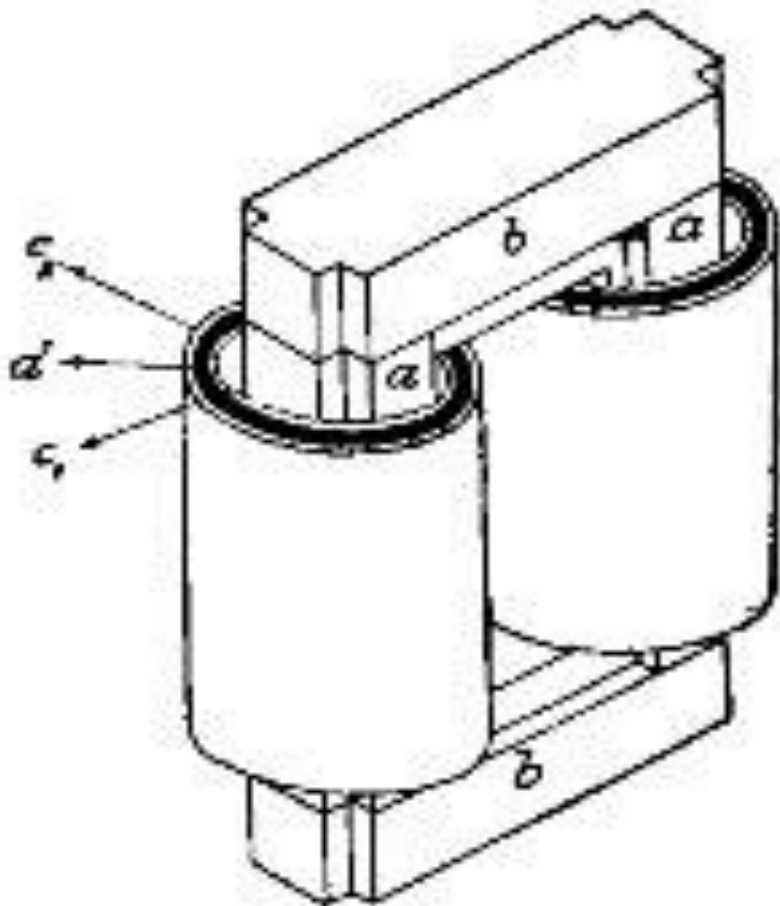
В катушке I индуцируется ЭДС самоиндукции,

В катушке II индуцируется ЭДС взаимной индукции.

Если к катушке II подключить приемники электроэнергии => в цепи появится ток => приемники получают электроэнергию.

ДЛЯ увеличения магнитной связи $I \Rightarrow II$ и уменьшения магнитного сопротивления (прохождению магнитного потока) обмотки технических трансформаторов располагают на замкнутых железных сердечниках.

А) СТЕРЖНЕВОГО типа



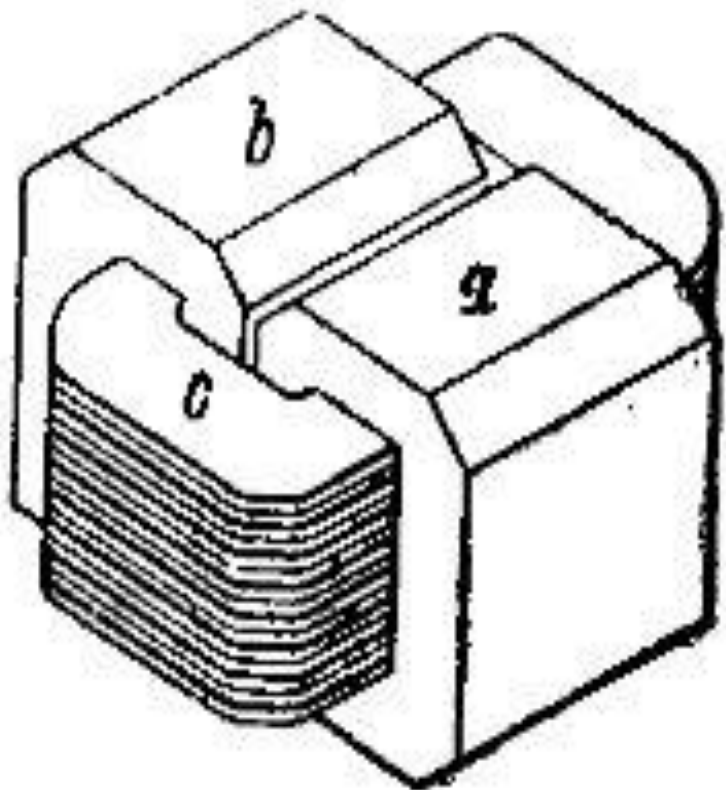
Первичные и вторичные катушки c_1 и c_2 расположены на железных стержнях а-а, соединены с торцовыми железными накладками б-б, (ЯРМО).

Два стержня а-а и два ярма б-б образуют замкнутое железное кольцо - сердечник трансформатора. \Rightarrow

В нем проходит магнитный поток, сцепляющийся с первичной и вторичной обмотками.



Б) БРОНЕВОГО типа



- *Первичные и вторичные обмотки «с», состоящие (каждая) из ряда плоских катушек, расположены на сердечнике из двух железных колец а и б.*
- *Кольца а и б, окружая обмотки, покрывают их почти целиком как бы броней – БРОНЕВОГО типа.*
- *Магнитный поток, проходящий внутри обмоток «с», разбивается на 2 равные части, замыкающиеся каждое в своем железном кольце*

Применение железных замкнутых магнитных цепей => значительное снижение потока рассеяния.

У таких трансформаторов поток, сцепляющиеся с первичной и вторичной обмотками, почти РАВНЫ друг другу.

Исходя из этого

По общему закону индукции мгновенные значения ЭДС обмоток:

$$e_1 = -w_1 \cdot \frac{d\Phi_t}{dt} \cdot 10^{-8}$$

$$e_2 = -w_2 \cdot \frac{d\Phi_t}{dt} \cdot 10^{-8}$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

w_1, w_2 — числа витков обмоток,
 $d\Phi_t$ - изменения магнитного потока за dt , =>
скорость изменения магнитного потока

ЭДС в первичной и вторичной катушках относятся друг к другу так же, как числа ВИТКОВ катушек.

Приложив к одной катушке некоторое напряжение => на концах другой катушки получить любое напряжение <=> подходящее отношение между числами ВИТКОВ этих катушек.

Основное свойство трансформатора

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = k_{\tau}$$

Коэффициент трансформации k_{τ}

КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ в обычном случае определяется как **ОТНОШЕНИЕ** *высшего* напряжения к низшему в *режиме* холостого хода.

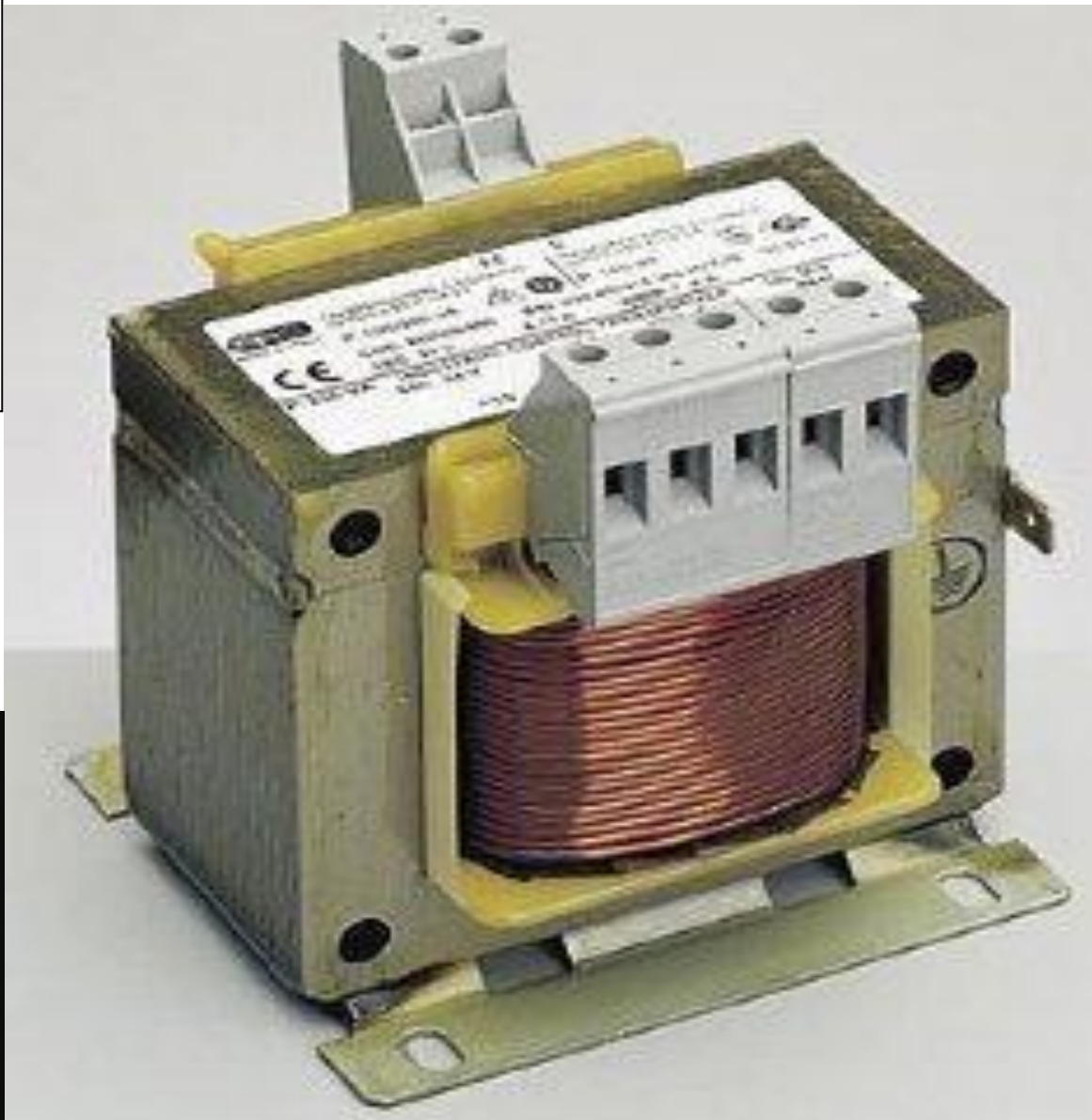
Коэффициент трансформации для *понижающего* трансформатора:

$$K_{\text{т}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Из этого следует, что трансформатор *снижает* напряжение и во *столько же раз* повышает ток
(и наоборот)

Трансформатор, у которого *коэффициент трансформации* МЕНЬШЕ ЕДИНИЦЫ, называется *повышающим* трансформатором.

Трансформатор, у которого *коэффициент трансформации* БОЛЬШЕ ЕДИНИЦЫ, называется *понижающим* трансформатором.



В режиме холостого хода:

- **Магнитный поток равен номинальному**
- **Потери на перемагничивание равны номинальным**
- **Электрические потери малы**
- **Мощность, потребляемая от источника тратится только на создание магнитного поля (реактивная) и нагрев сердечника при перемагничивании (активная).**

Режим ХХ характеризует магнитную цепь трансформатора!

1.2. Работа под нагрузкой

Нагрузка на вторичную обмотку \Rightarrow в ней ток \Rightarrow магнитодвижущая сила \Rightarrow против первичной (закон Ленца).

Магнитный поток должен БЫ уменьшаться

НО! если к первичной обмотке - постоянное ПО ВЕЛИЧИНЕ напряжение \Rightarrow уменьшения магнитного потока почти **НЕТ**.

ЭДС в первичной обмотке, почти = приложенному напряжению (и при нагрузке) \Rightarrow Если первичное напряжение постоянно по величине \Rightarrow ЭДС при нагрузке почти **ТА ЖЕ** (как при холостой работе) \Rightarrow Эта ЭДС пропорциональна магнитному потоку \Rightarrow полное постоянство магнитного потока при любой нагрузке.

ПОЯВЛЕНИЕ во вторичной обмотке размагничивающей магнитодвижущей силы сопровождается **УВЕЛИЧЕНИЕМ** магнитодвижущей силы первичной обмотки

1.3. Режим короткого замыкания

□ Это *аварийный режим работы трансформатора*.

□ В режиме короткого замыкания:

▪ **НАПРЯЖЕНИЕ** *первичной обмотки* равно **НОМИНАЛЬНОМУ**,

▪ *сопротивление нагрузки* равно **нулю**.

□ В *аварийном режиме короткого замыкания* устанавливаются *большие токи* короткого замыкания в обмотках. => Эти значения так велики, что приводят к **ВЫХОДУ ИЗ СТРОЯ обмотки трансформатора**.

В режиме короткого замыкания:

- Магнитный поток мал по сравнению с номинальным**
- Потери на перемагничивание равны нулю**
- Электрические потери равны номинальным**
- Мощность, потребляемая от источника тратится только на нагрев обмоток трансформатора.**

Режим КЗ характеризует электрические параметры обмоток трансформатора!

1.4. Основные параметры трансформатора

- 1. Номинальное входное напряжение**
- 2. Номинальное выходное напряжение**
- 3. Номинальная полная мощность**
- 4. Частота**
- 5. Масса и габариты**
- 6. Ток холостого хода (в % от номинального)**
- 7. Напряжение короткого замыкания (в % от номинального)**
- 8. Потребляемая в режиме ХХ активная мощность**
- 9. Потребляемая в режиме КЗ активная мощность**

§2. Общие положения

2.1. Реальный, идеализированный и приведенный трансформаторы

РЕАЛЬНЫЙ - обмотки расположены на сердечнике, имеют как активное сопротивление, так и сопротивление рассеяния.
Основной магнитный поток, пронизывающий обе обмотки
ПЛЮС поток рассеяния первичной и вторичной обмоток

ИДЕАЛИЗИРОВАННЫЙ – отсутствуют поток рассеяния, а активные сопротивления обмоток равны нулю.

ПРИВЕДЕННЫЙ – эквивалентный реальному, коэффициент трансформации 1 (количество витков вторичной обмотки равно количеству витков первичной обмотки).

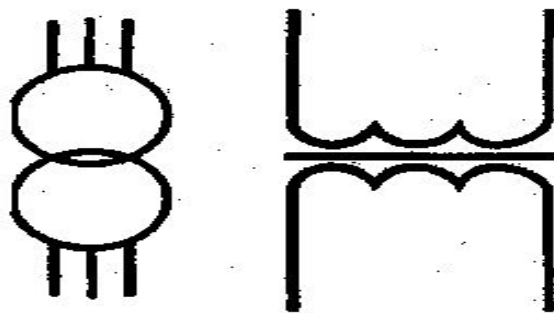
2.2. Изображение трансформаторов на электрических схемах

Стандартом предусмотрены три способа условных графических обозначений трансформаторов:

упрощенный
однолинейный

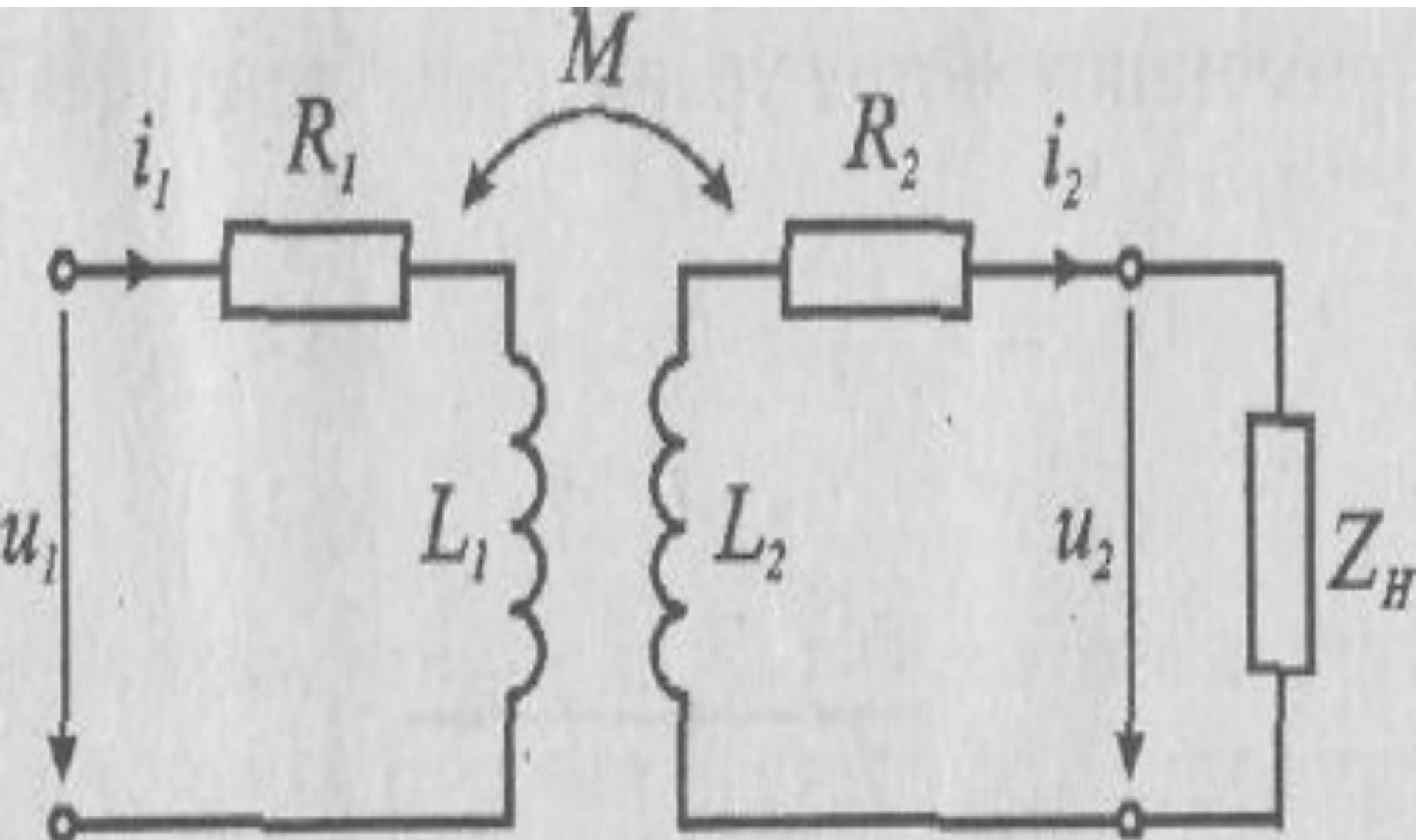
упрощенный
многолинейный

развернутый



*Упрощенное многолинейное трехфазного
трансформатора и
развернутое однофазного
с сердечником*

2.3. Схема двухобмоточного трансформатора без магнитопровода



2.4. Уравнения трансформатора

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt};$$

$$0 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} + u_2.$$

Уравнения трансформатора в комплексной форме

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 - j\omega M \dot{I}_2;$$

$$0 = R_2 \dot{I}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 - j\omega M \dot{I}_1 + \dot{U}_2.$$

2.5. Режимы работы трансформатора

- Режим *холостого хода*:

$$Z_{\text{H}} = \infty, U_2 = 0.$$

- Режим *короткого замыкания*:

$$Z_{\text{H}} = 0, U_2 = 0.$$

- Режим *нагрузки*.

2.5.1. Режим холостого хода

- Вторичная обмотка не оказывает влияния на физические процессы в первичной обмотке, при этом первичная обмотка эквивалентна цепи, состоящей из последовательно включенных R_1 и L_1 .

Уравнения трансформатора в режиме холостого хода

$$\begin{aligned}U_{1X} &= R_1 \dot{I}_{1X} + j\omega L_1 \dot{I}_{1X}; \\0 &= U_{2X} - j\omega M \dot{I}_{1X}.\end{aligned}$$

2.5.2. Режим короткого замыкания

- Так как ток I_{2k} во вторичной обмотке велик, то даже при малом входном напряжении U_{1k} ток в первичной обмотке I_{1k} достигает больших значений.
- Это может привести к перегреву или даже перегоранию одной из обмоток трансформатора.

Уравнения трансформатора в режиме короткого замыкания

$$\dot{U}_{1k} = R_1 \dot{I}_{1k} + j\omega L_1 \dot{I}_{1k} - j\omega M \dot{I}_{2k},$$

$$0 = R_2 \dot{I}_{2k} + j\omega L_2 \dot{I}_{2k} - j\omega M \dot{I}_{1k}.$$

2.5.3. Режим нагрузки

- Ток вторичной обмотки I_2 оказывает существенное влияние на ток в первичной обмотке I_1 .
- Это обусловлено встречным включением обмоток, при котором общий магнитный поток в первичной обмотке равен разности магнитных потоков, создаваемых в ней токами первичной и вторичной обмоток:
 - Магнитный поток от тока I_2 УМЕНЬШАЕТ общий магнитный поток через первичную обмотку =>
 - УМЕНЬШАЕТ суммарную, индуцируемую в ней ЭДС, что приводит к УВЕЛИЧЕНИЮ тока I_1 в ней до такой его величины, при которой:
 - ее суммарная ЭДС совместно с падением напряжения на активном сопротивлении,
 - -уравновесят приложенное к первичной обмотке напряжение U_1 .

Уравнения для идеального трансформатора

$$\dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 - j\omega M \dot{I}_2;$$

$$\dot{U}_2 = j\omega M \dot{I}_1 - j\omega L_2 \dot{I}_2.$$

$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{n}.$$

$$\dot{U}_1 \dot{I}_1 = \dot{U}_2 \dot{I}_2,$$

2.6. КПД трансформатора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\phi_2)$$

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\phi_1)$$

Коэффициент нагрузки трансформатора

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1ном}} = \frac{I_2}{I_{2ном}}$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi_2)}{\beta \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi_2) + \beta^2 \cdot P_{кз} + P_{xx}}$$

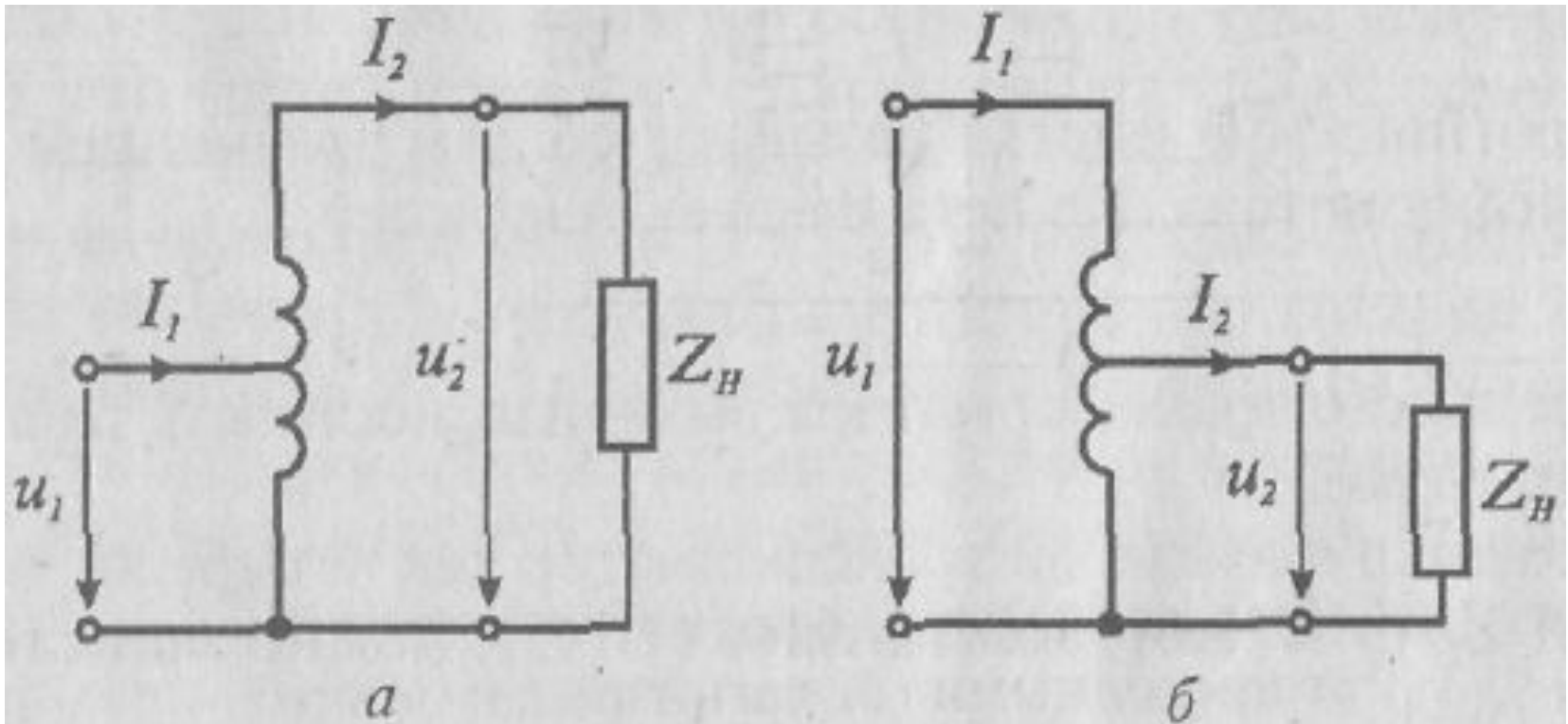
§3. Виды трансформаторов

- 1. Автотрансформаторы**
- 2. Однофазные трансформаторы**
- 3. Трехфазные трансформаторы**
- 4. Измерительные трансформаторы**

3.1. Автотрансформаторы

- Специальный тип трансформатора с одной обмоткой, часть которой принадлежит первичной и вторичной цепям.
- Могут быть повышающие и понижающие, однофазные, трехфазные, регулируемые и нерегулируемые.

Повышающий и понижающий автотрансформаторы

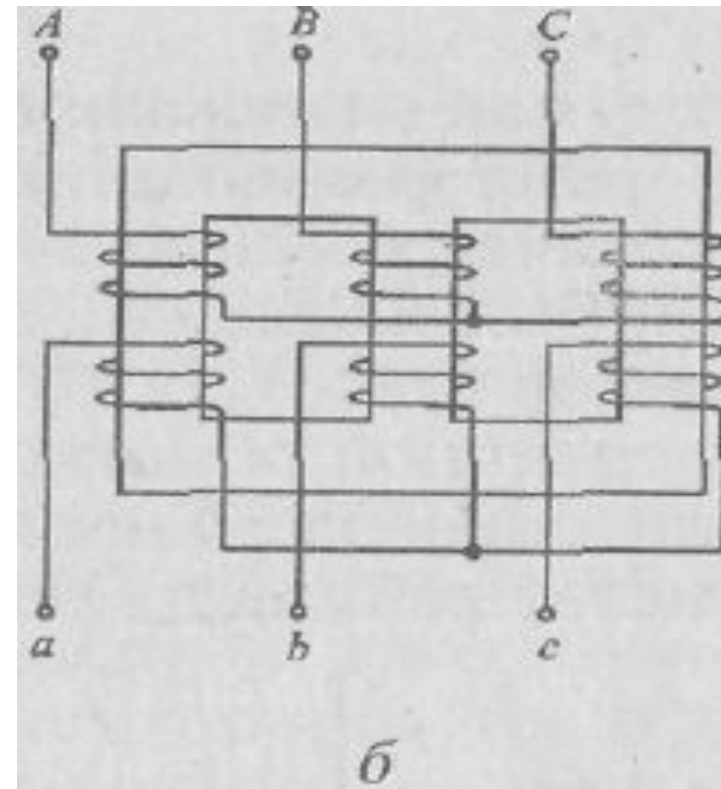
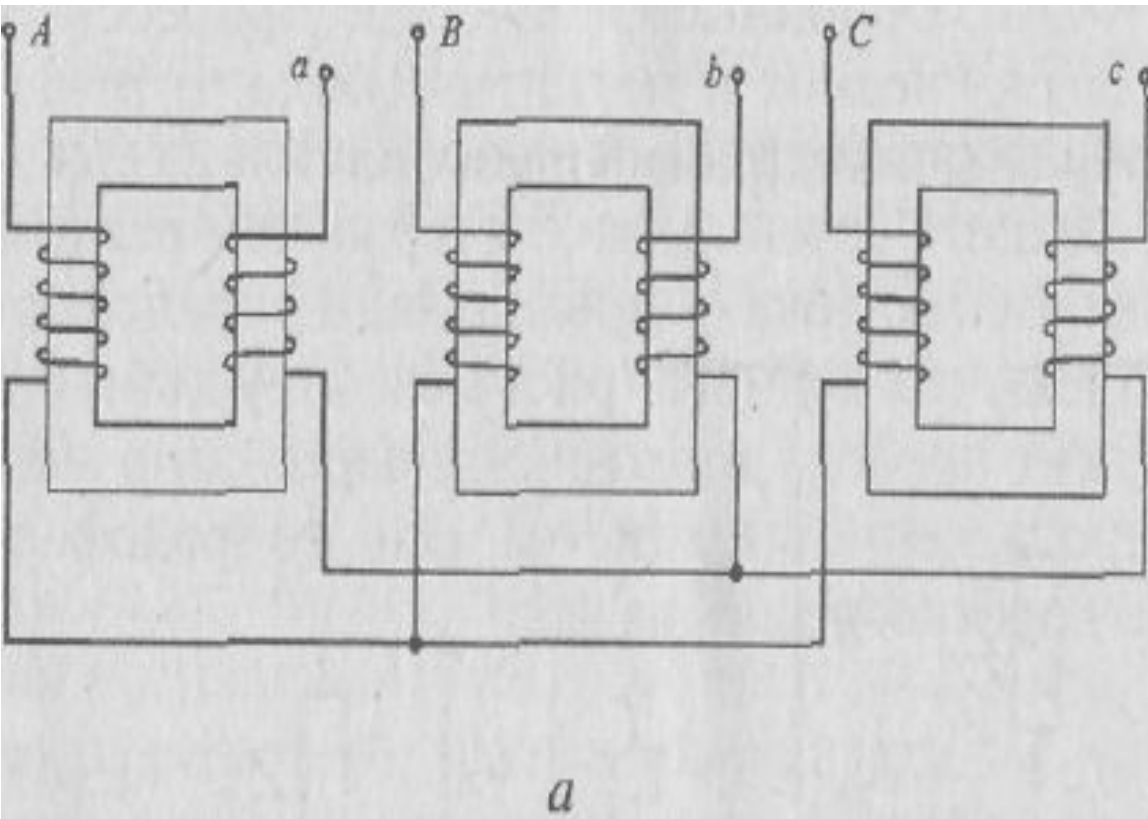


Особенности и достоинства автотрансформаторов

- Ток в общей части обмотки автотрансформатора МЕНЬШЕ, чем в *остальной* ее части, т.к. по *общей части* протекают почти *встречные* токи первичной и вторичной цепей.
- МОЩНОСТЬ *первичной цепи* передается во вторичную цепь как *электромагнитным* (трансформаторным), так и электрическим способами.

- ЭКОНОМИЧНОСТЬ — *обмоточные материалы* расходуются только на *одну обмотку*;
- *Меньшие потери в меди* и *большой КПД* \Leftarrow *токи в общей части направлены встречно*;
- Возможность *плавной регулировки* напряжения U_2 *вторичной цепи* при непрерывном скольжении контакта по *зачищенной поверхности витков*.

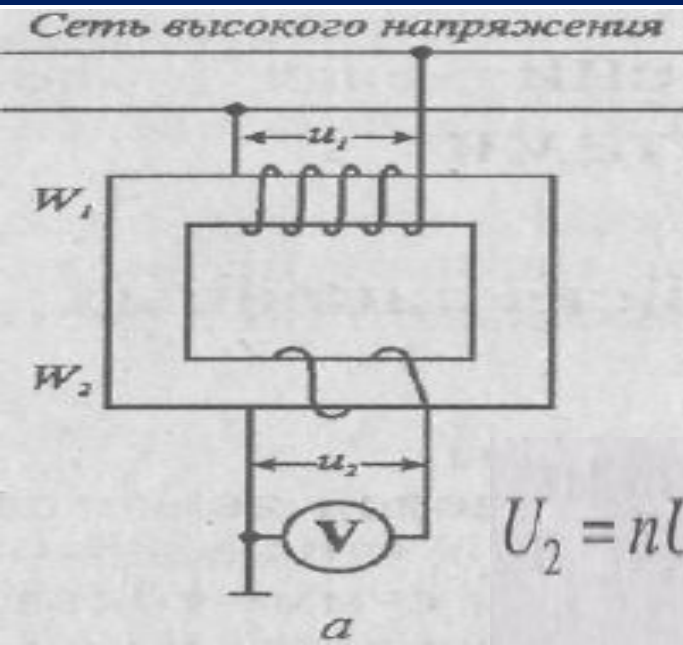
3.3. Трехфазные трансформаторы



3.4. Измерительные трансформаторы

- Измерительные трансформаторы *напряжения* и тока.
- Используются для *подключения* измерительных приборов в цепи *высокого* напряжения и *больших* токов.
- Обычные двухобмоточные трансформаторы.

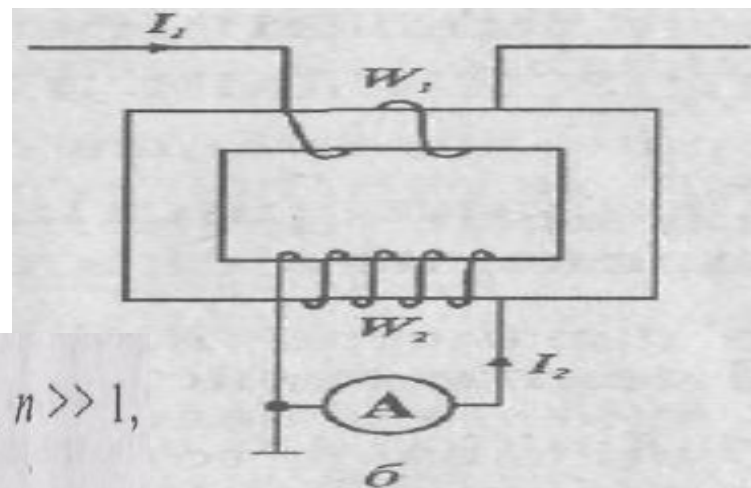
3.4.1. Измерительные трансформаторы напряжения



$$U_2 = nU_1 = \frac{W_2}{W_1} U_1, n \ll 1,$$

3.4.2. Измерительные трансформаторы тока

$$I_1 = nI_2 = \frac{W_2}{W_1} I_2, n \gg 1,$$



§4. Конструкция трансформаторов

- Конструкция трансформатора зависит от:
 - его НАЗНАЧЕНИЯ и
 - области ПРИМЕНЕНИЯ.
- Главные конструктивные элементы — *МАГНИТНАЯ СИСТЕМА* и ОБМОТКИ.
 - Наиболее широко применяются *силовые трансформаторы*.

4.1. Плотность тока в ОБМОТКАХ

Плотность тока в обмотках выбирают по условиям нагрева
• в сухих $(1-2,5) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$] в зависимости от мощности и
• в масляных $(2-4,5) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$] конструкции трансформатора

Максимальное сечение

- круглого проводника - примерно до 20 мм²,
- прямоугольного — 80 мм².

Предельный ток проводника — соответственно 45 и 360 А.

4.2. Элементы обмотки

- ❖ *Основным элементом обмотки является ВИТОК, который выполняется одним или группой параллельных проводов.*
- ❖ *Ряд витков на цилиндрической поверхности называется СЛОЕМ.*
- ❖ *Витки могут группироваться в КАТУШКИ.*
- ❖ *По направлению намотки обмотки делятся на ПРАВЫЕ И ЛЕВЫЕ подобно резьбе винта.*
- ❖ *Большинство обмоток трансформаторов выполняются с левой намоткой для удобства изготовления.*

4.3. Разновидности обмоток

Определяющими для конструкции обмотки являются:

- число ВИТКОВ,
- сечение ВИТКА,
- класс напряжения.

По способу размещения обмоток на стержне различают:

- концентрические,
- дисковые или чередующиеся

По конструктивно-технологическим признакам :

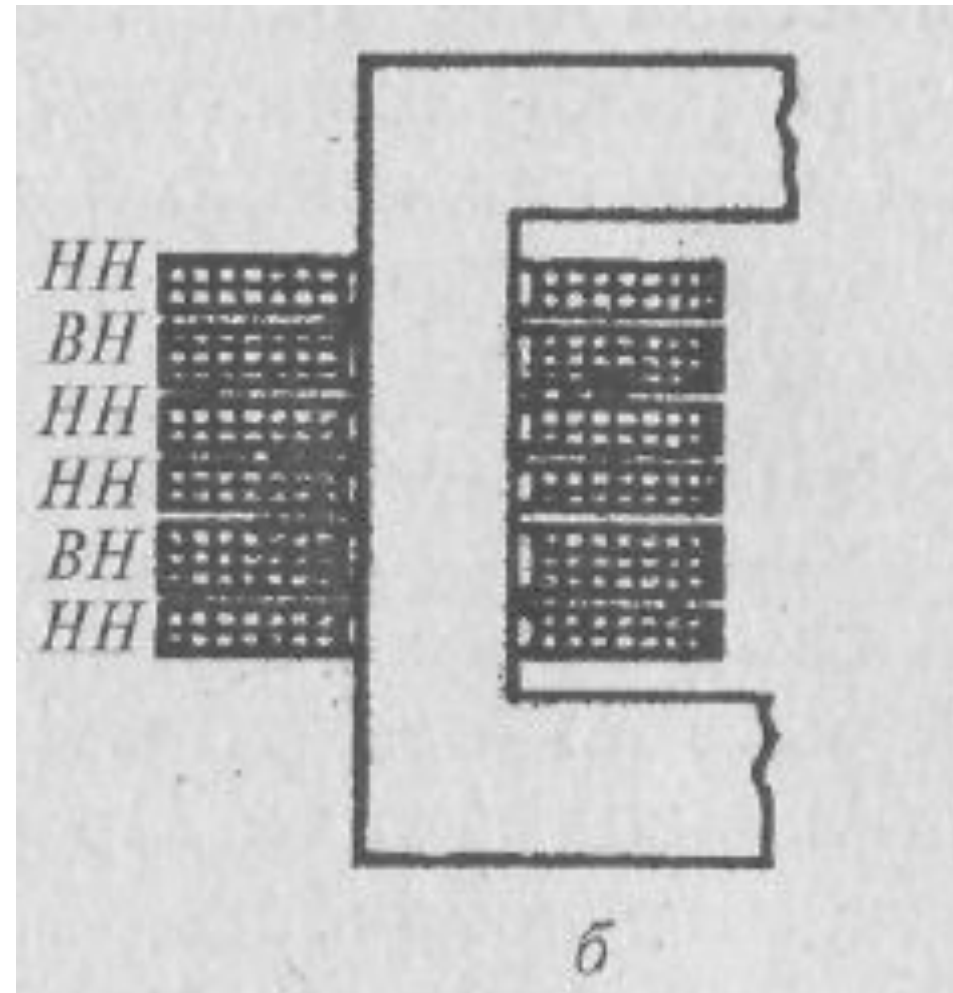
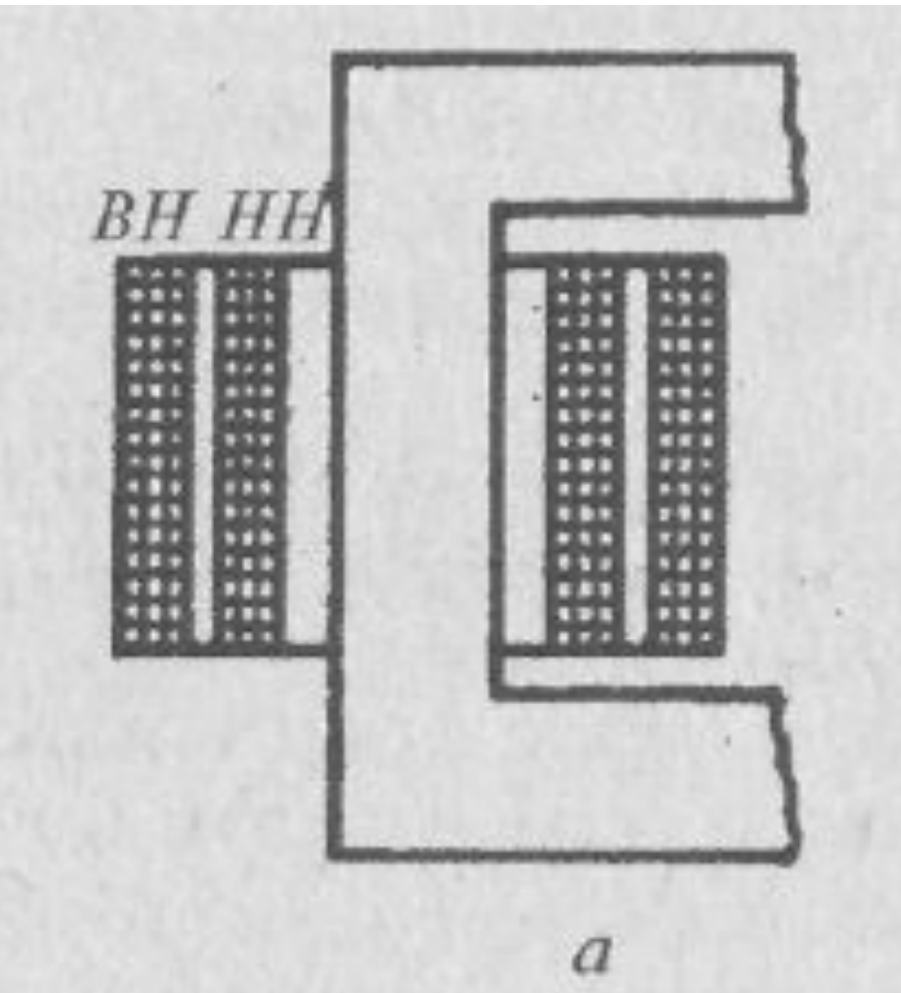
- цилиндрические,
- винтовые,
- непрерывные.

Обмотки каждого из этих типов могут подразделяться на:

- ✓ одно- или многослойные цилиндрические,
- ✓ одно- или многоходовые винтовые,
- ✓ дисковые,
- ✓ переплетенные.

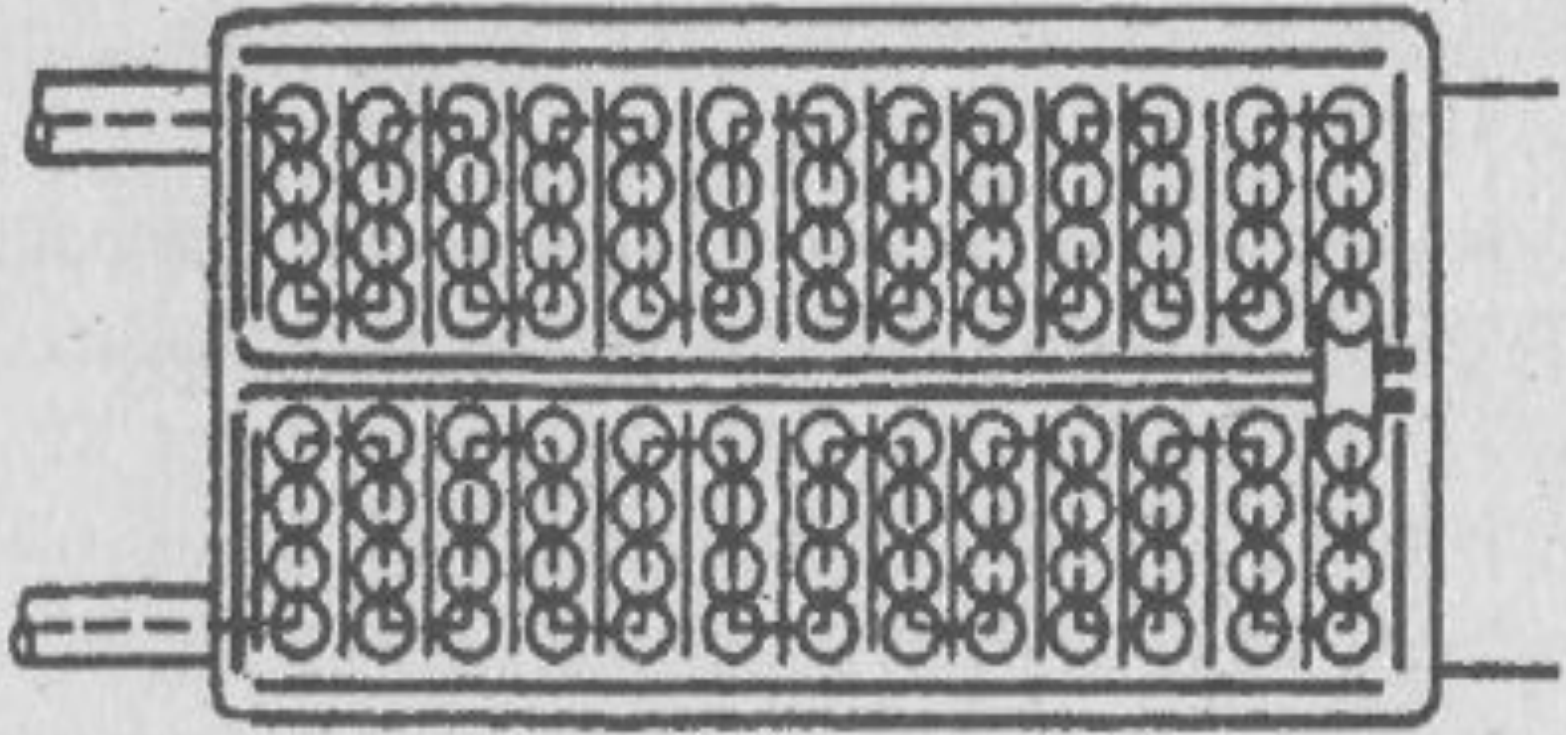


4.3.1. Концентрические, дисковые



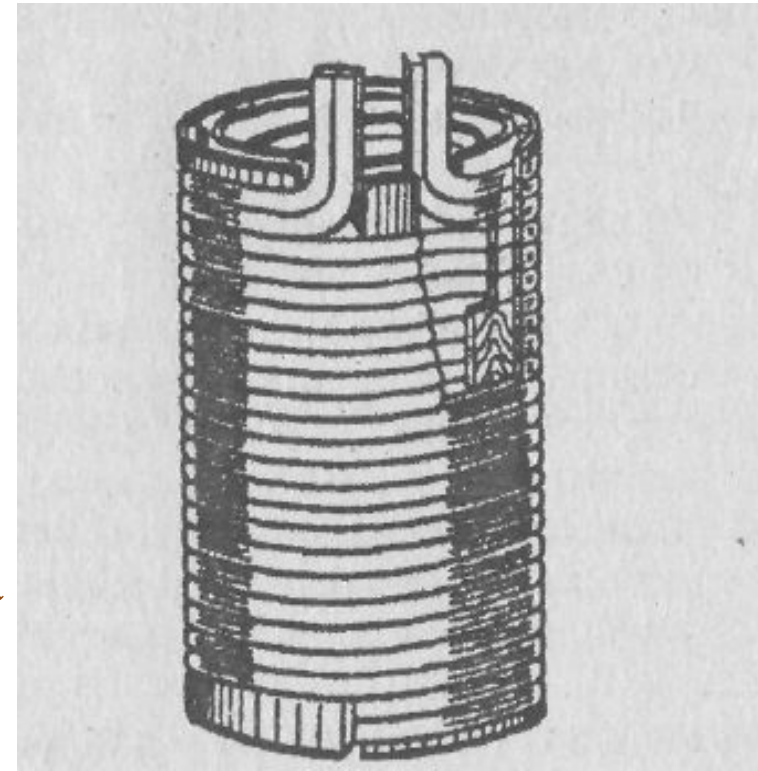
- *а* — концентрические;
- *б* — дисковые или чередующиеся;
- *НН* — обмотки НИЗКОГО напряжения;
- *ВН* — обмотки ВЫСОКОГО напряжения

Дисковая катушка чередующейся обмотки из круглого провода



4.3.2. Цилиндрические слоевые обмотки

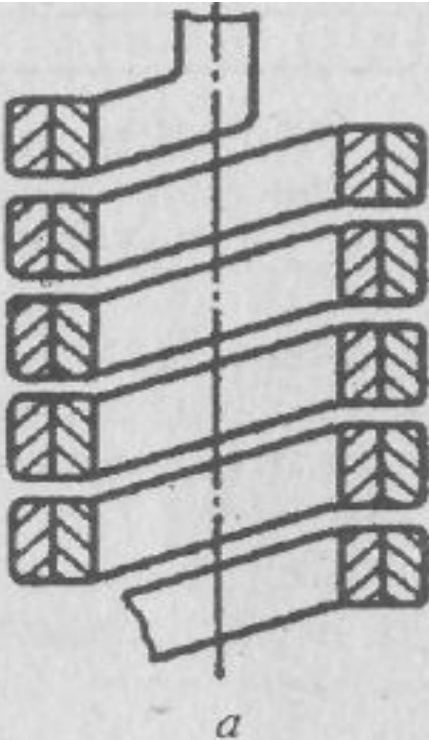
- Цилиндрические слоевые обмотки выполняются из *проводов* прямоугольного или круглого сечения.
- Слои обмотки составляют *витки*, наматываемые по винтовой линии.
- При намотке каждый *виток слоя* укладывают *вплотную* к предыдущему витку в направлении высоты обмотки.
- Переход из *слоя* в слой осуществляется в процессе намотки *без пайки*.



Цилиндрическая двухслойная обмотка

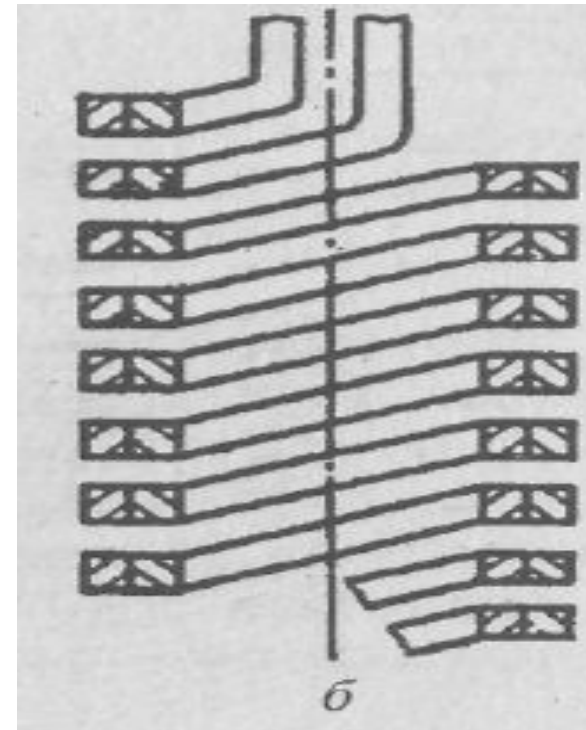
4.3.3. Винтовые обмотки

- Винтовая обмотка состоит из ряда витков, наматываемых по винтовой линии.
- В трансформаторах большой мощности число параллельных проводников может достигать многих десятков.
- Винтовые обмотки бывают одно-, двух- и многоходовыми.
- Двухходовые и многоходовые обмотки состоят соответственно из двух или более отдельных винтовых обмоток, вмотанных одна в другую.



а — одноходовая;

б — двухходовая



4.3.4. Непрерывные обмотки

- **Непрерывная обмотка состоит из ряда катушек, расположенных в осевом направлении и соединенных между собой последовательно без пайки.**
- **Число катушек в обмотке - от 30 до 150. Витки в катушке наматываются плашмя по спирали в радиальном направлении**
- **Катушки наматываются на рейках, образующих вертикальные каналы.**
- ◆ **На рейки надеваются прокладки, создающие радиальные каналы между катушками.**
- **Каждый виток обмотки может состоять из одного или нескольких параллельных проводов.**

§5. Конструкции магнитных систем

Можно разделить на два основных типа:

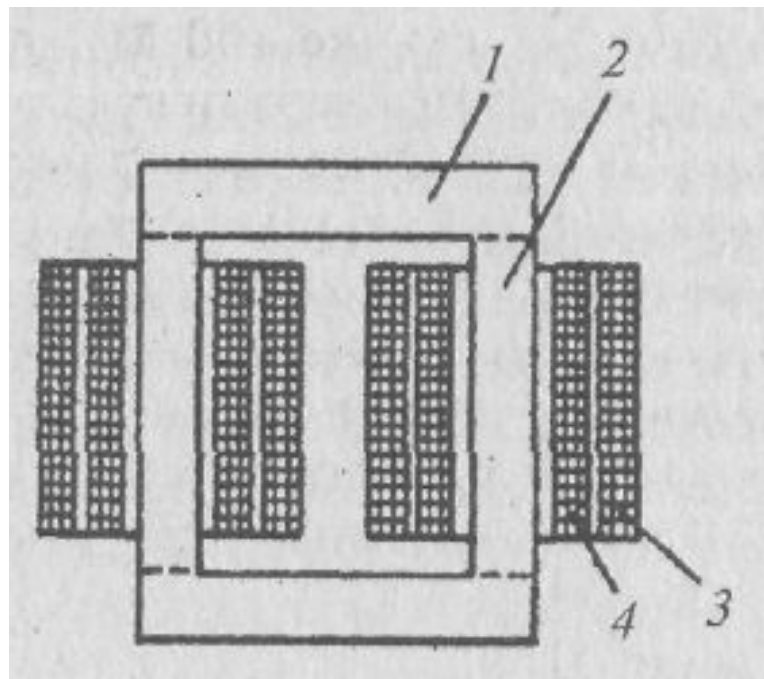
*Стержневые**

Броневые

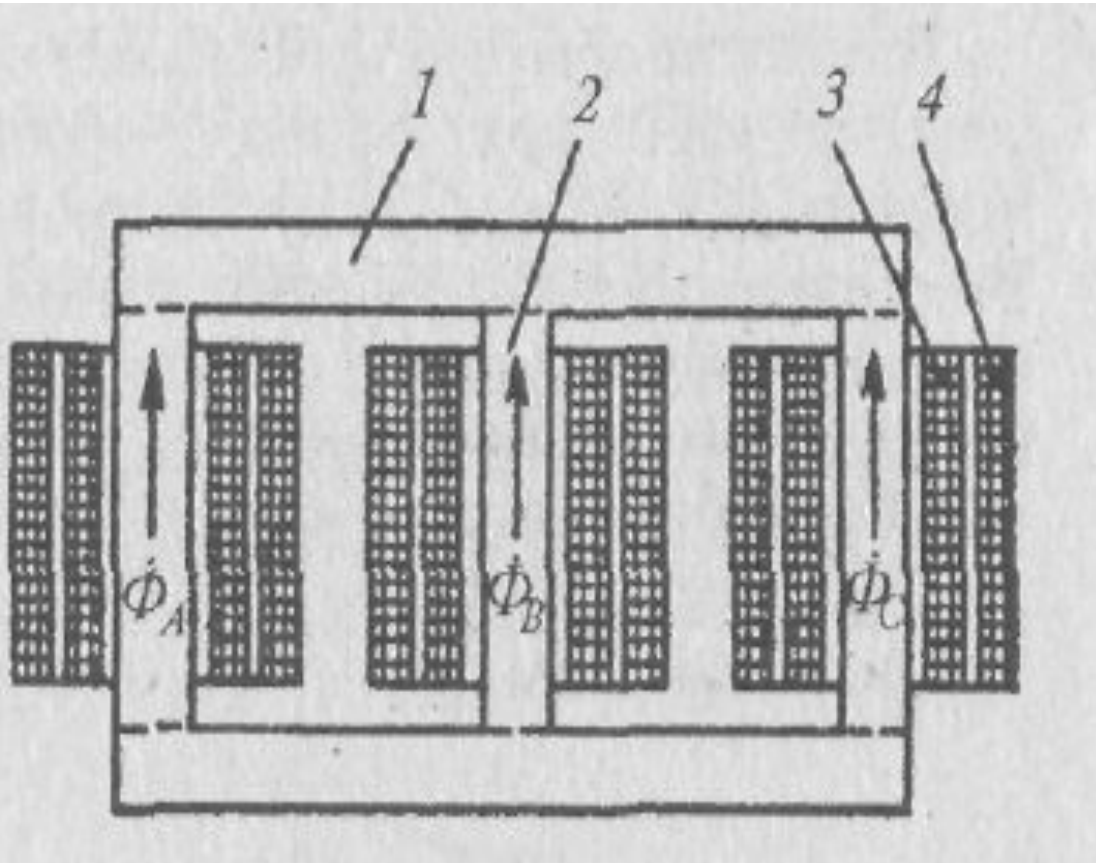
*Для силовых трансформаторов применяют преимущественно магнитные системы стержневого типа.

5.1. Однофазные стержневые трансформаторы

Однофазные стержневые трансформаторы имеют два стержня 2, несущие обмотки 3, 4.



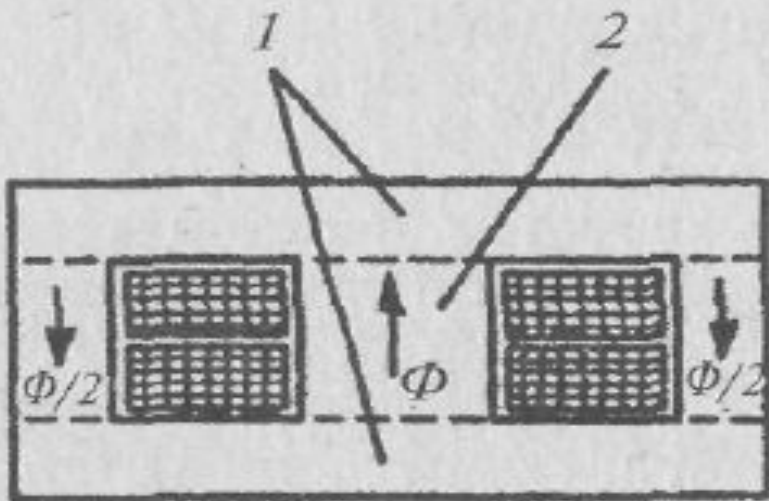
5.2. Трехфазные стержневые трансформаторы



Трехфазные стержневые трансформаторы имеют три стержня.

Стержни соединяются верхним и нижним ярмами.

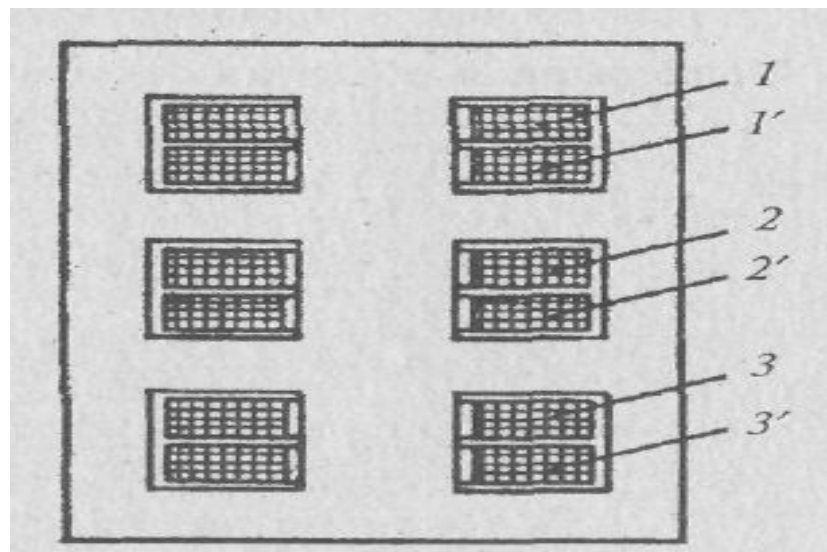
5.3. Однофазный броневой трансформатор



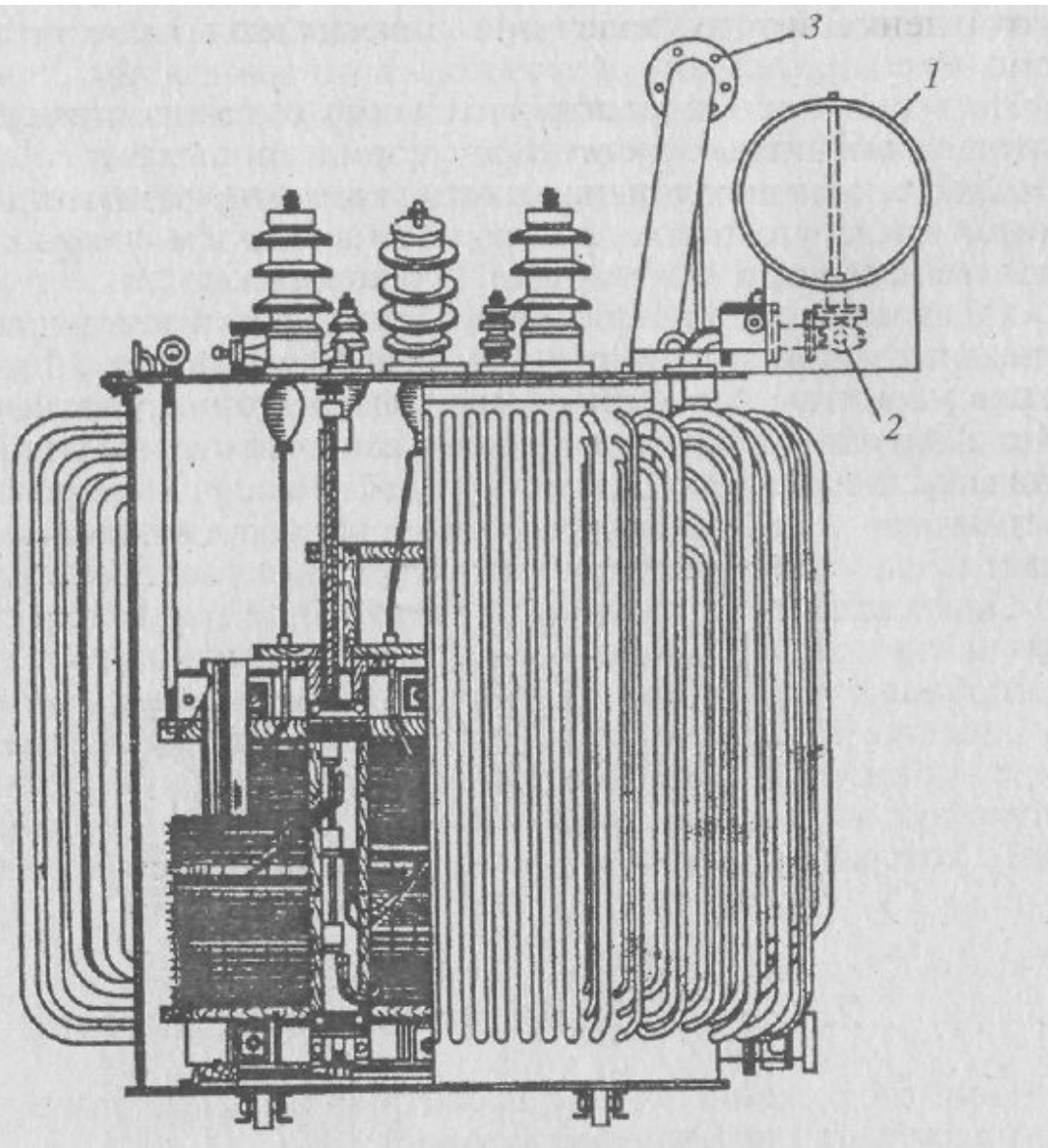
Однофазный броневой трансформатор имеет один стержень 2 и два ярма 1, закрывающие (бронирующие) обмотки.

5.4. Трехфазный броневой трансформатор

получается из трех однофазных, если их поставить друг на друга.
1, 2, 3 — обмотки НН фаз А, В, С;
1', 2', 3' — обмотки ВН фаз А, В, С.



Общий вид трансформатора мощностью 100 кВ-А и напряжением 6 кВ



- 1 – расширитель;
- 2 – газовое реле;
- 3 – выхлопная труба

§6. Схемы и группы соединений

□ В **ОДНОФАЗНЫХ** трансформаторах:

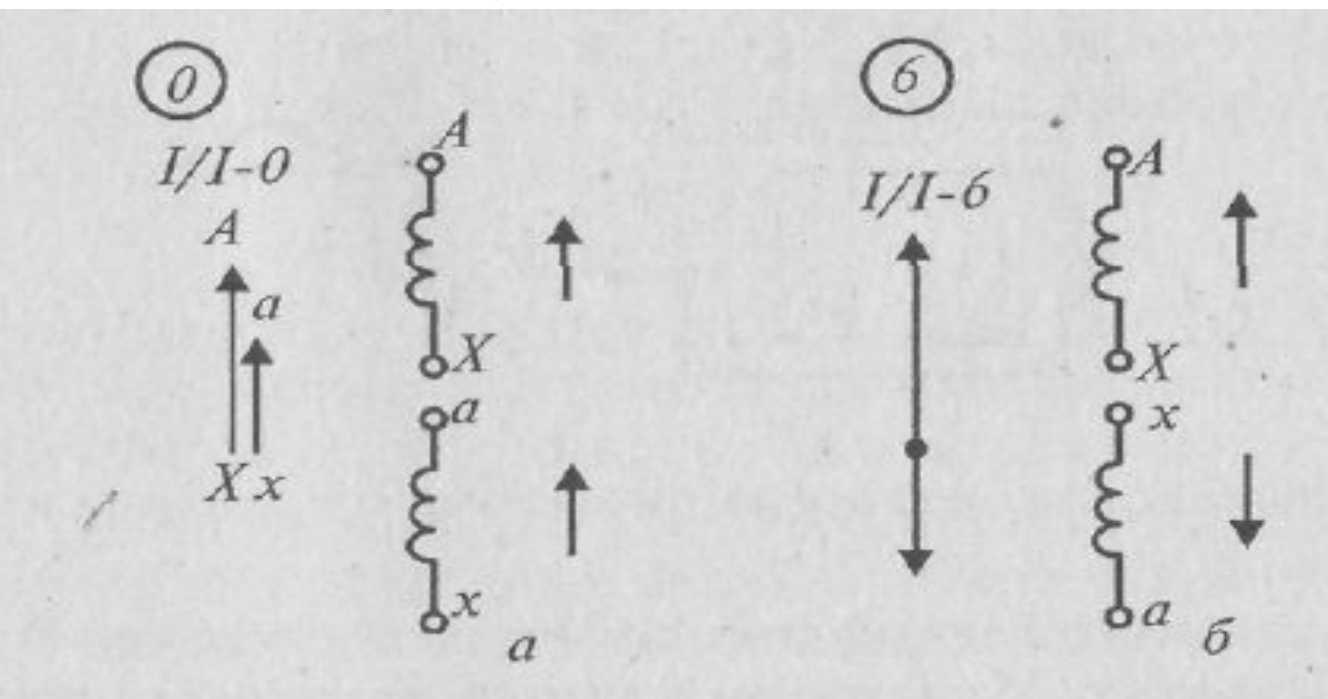
- *Начала* обмоток обозначаются A, a,
- *Концы* обмоток X, x.
- *Большие* буквы относятся к обмоткам высшего напряжения,
- *Малые* — к обмоткам низшего напряжения.

□ В **ТРЕХФАЗНЫХ** трансформаторах:

- *Начала обмоток высшего напряжения* обозначаются *A, B, C*,
- *Концы - X, Y, Z*.
- *Начала обмоток низшего напряжения* — *a, b, c*,
- *Концы — x, y, z*.
- *Нулевые точки* — *O* и *o*.

6.1. Группы соединений однофазных трансформаторов

► Возможны две группы соединений: НУЛЕВАЯ и ШЕСТАЯ.



Эти группы обозначаются соответственно $I/I-0$ и $I/I-6$

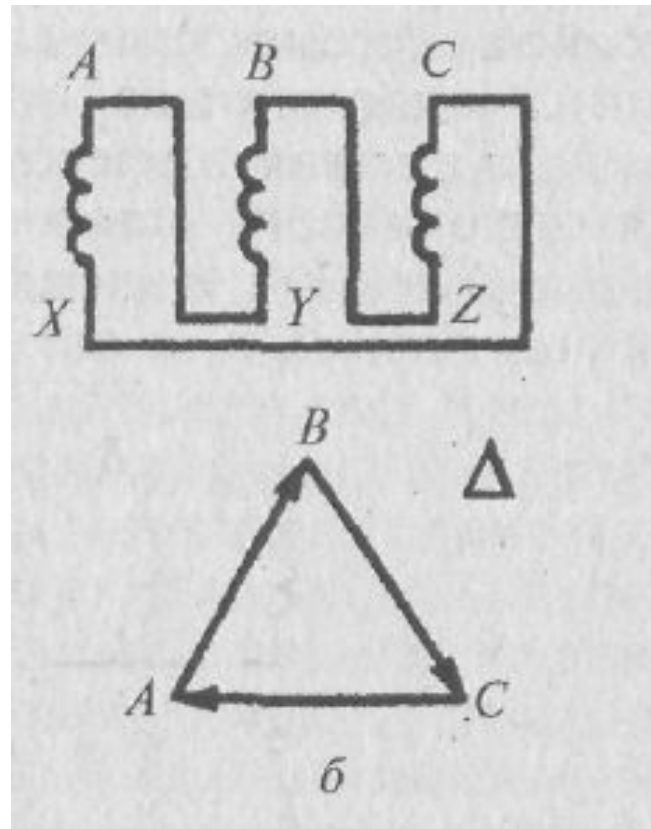
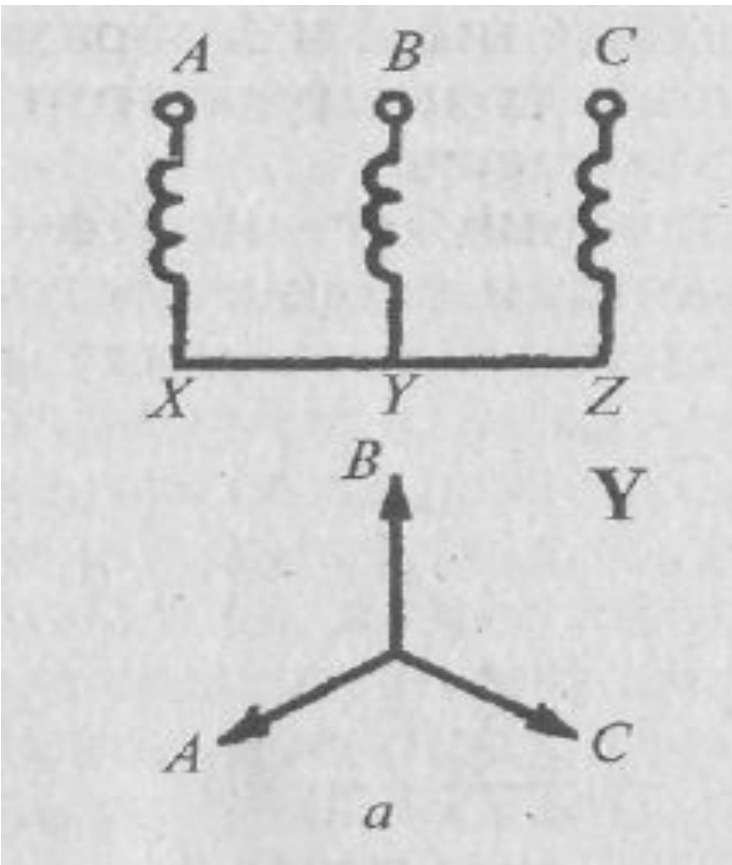
► Сдвиг фаз между линейными напряжениями обмоток характеризуют положением стрелок часов.

► ЭДС обмотки высшего напряжения - минутная стрелка устанавливают на 12.

► Часовая - напряжение обмотки низшего напряжения.

6.2. Схемы и группы соединений в трех и многофазных трансформаторах

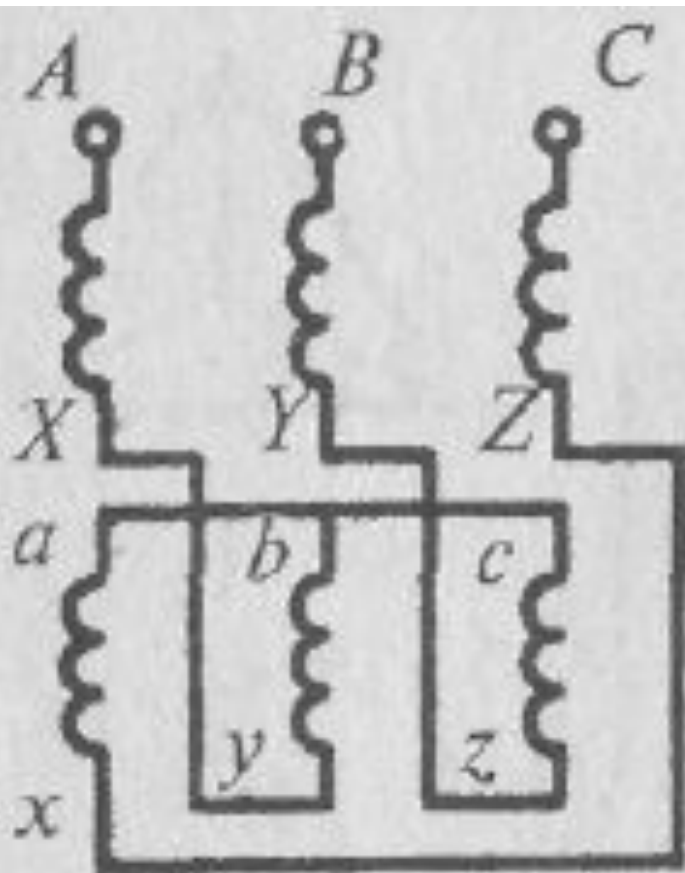
- Наибольшее применение - в ЗВЕЗДУ и ТРЕУГОЛЬНИК.
- ЗИГЗАГ применяется редко, другие - практически нет.
- В звезду обозначается Y , в треугольник — Δ , в зигзаг — Z .



Схемы и векторные диаграммы соединения обмоток Y и Δ



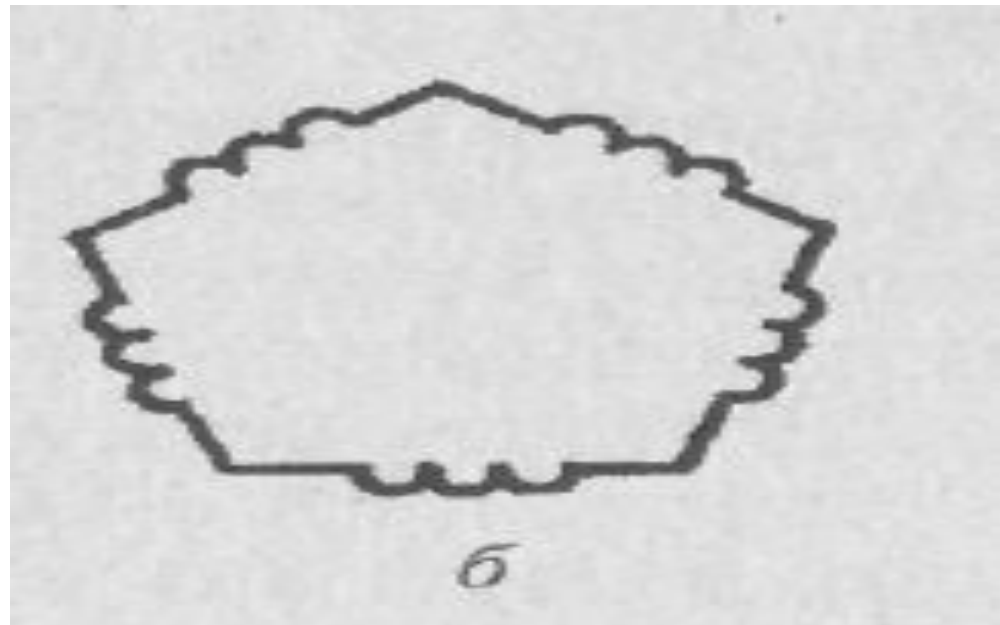
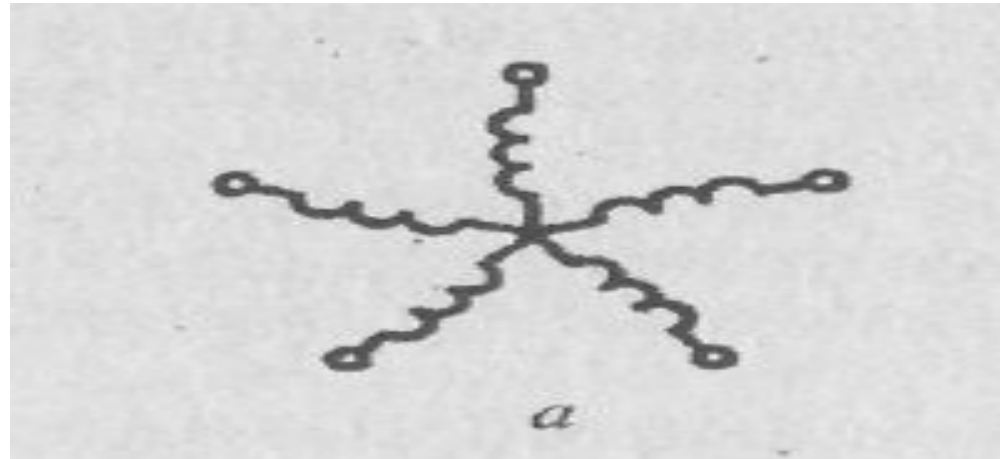
Схема соединения в зигзаг



- В соединениях в звезду и зигзаг можно вывести нулевую точку.
- В этом случае получаются соединения в звезду с нулевой точкой и в зигзаг с нулевой точкой.

6.3. Принципы соединения обмоток для многофазных трансформаторов

- Например, для *пятифазной системы* схемами соединения будут *пятифазная звезда* и *пятиугольник* (рисунок *а*, *б*),
- для *t -фазной системы* — *t -фазная звезда* и *t -угольник*.



§7. Силовой трансформатор

Силовой трансформатор - устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты



Силовой трансформатор 220 кВ



ТРАНСФОРМАТОР



1. Расширительный бак
2. Изолятор
3. Сердечник трансформатора
4. Крышка бака трансформатора
5. Радиаторы
6. Обмотка низкого напряжения
7. Обмотка высокого напряжения

7.1. Виды силовых трансформаторов

По назначению:

- Понижающий
- Повышающий

По числу фаз:

- Однофазный
- Трехфазный

По мощности:

От 0,4 кВ
До 500 кВ



*силовой
масляный 35 кВ
трехфазный*



*силовой
масляный 110 кВ
трехфазный*

По способу охлаждения:

Сухой



*Силовой
сухой 0,4 кВ
трехфазный*

Масляный



*Силовой
масляный 0,4 кВ
трехфазный*

7.2. Измерительный трансформатор тока

Трансформатор тока – устройство предназначенное для передачи информации измерительным приборам

Преобразует ток для ИЗМЕРЕНИЯ стандартными приборами
Изолирует измерительные приборы от цепи высокого напряжения



ТТ элегазовый, 110 кВ



Виды трансформаторов тока



*ТТ для работы на
открытом воздухе*

По роду установки:

- Для работы на открытом воздухе
- Для работы в закрытых помещениях
- Для встраивания в полости электрооборудования
- Для специальных установок

По роду изоляции между первичной и вторичной обмотками ТТ:

- ✓ С *твердой* изоляцией (фарфор, литая изоляция, прессованная изоляция);
- ✓ С вязкой изоляцией (заливочные компаунды);
- ✓ С *комбинированной* изоляцией (бумажно – масляная, конденсаторного типа);
- ✓ С газообразной изоляцией (воздух, элегаз).



ТТ с твердой изоляцией



ТТ с газовой изоляцией

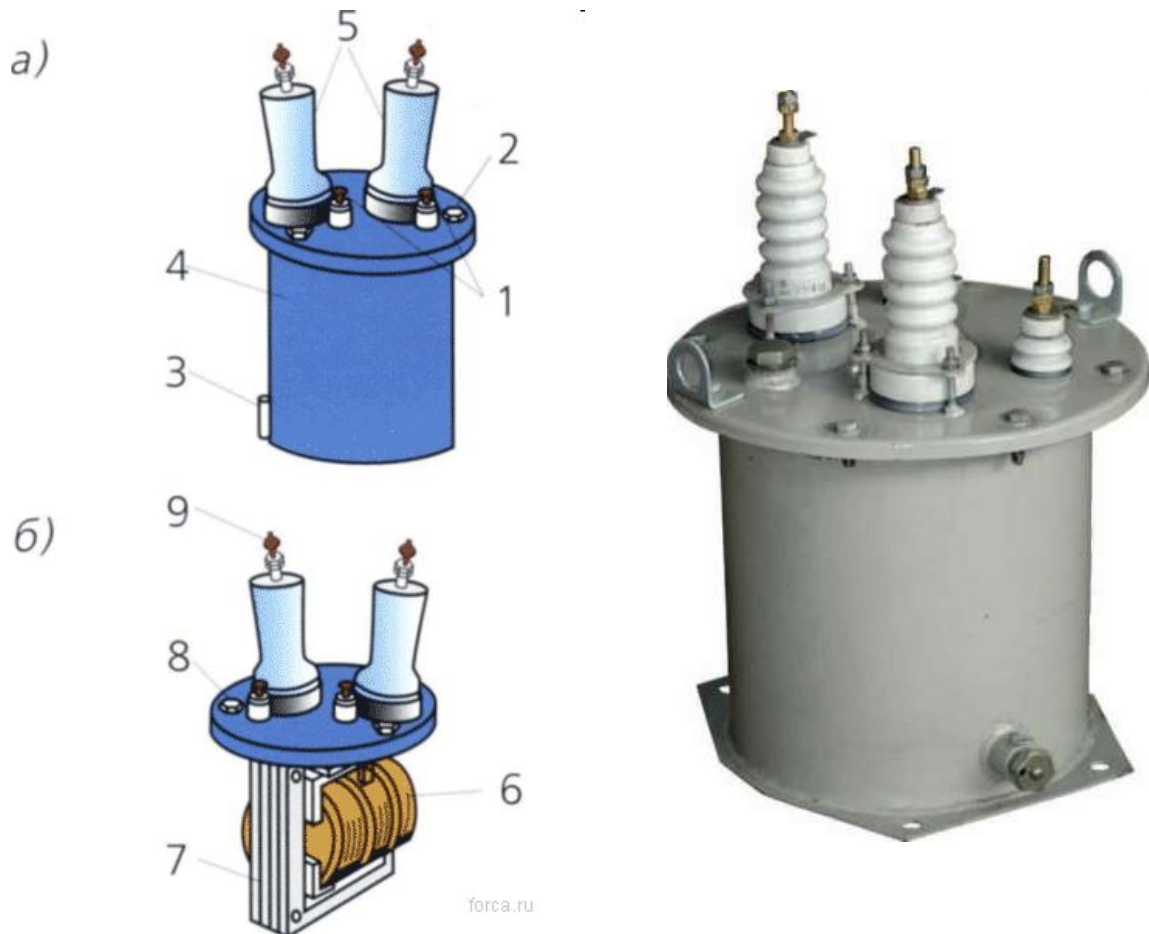
7.3. Измерительный трансформатор напряжения

Трансформатор напряжения – устройство, предназначенное для понижения высокого напряжения.

Позволяет использовать стандартные измерительные приборы для измерений на высоком напряжении



Устройство однофазного трансформатора напряжения



а - общий вид трансформатора напряжения; б - выемная часть; 1,5 - проходные изоляторы; 2 - болт для заземления; 3 - сливная пробка; 4 - бак; 6 - обмотка; 7 - сердечник; 8 - винтовая пробка; 9 - контакт высоковольтного ввода

Виды трансформаторов напряжения

по числу фаз:
однофазные
трехфазные



ТН трехфазный

по числу обмоток:
двухобмоточные
трехобмоточные

по способу охлаждения:
с масляным охлаждением
с естественным воздушным
(сухие)



ТН масляный 110 кВ

по роду установки:
внутренней
наружной



ТН однофазный

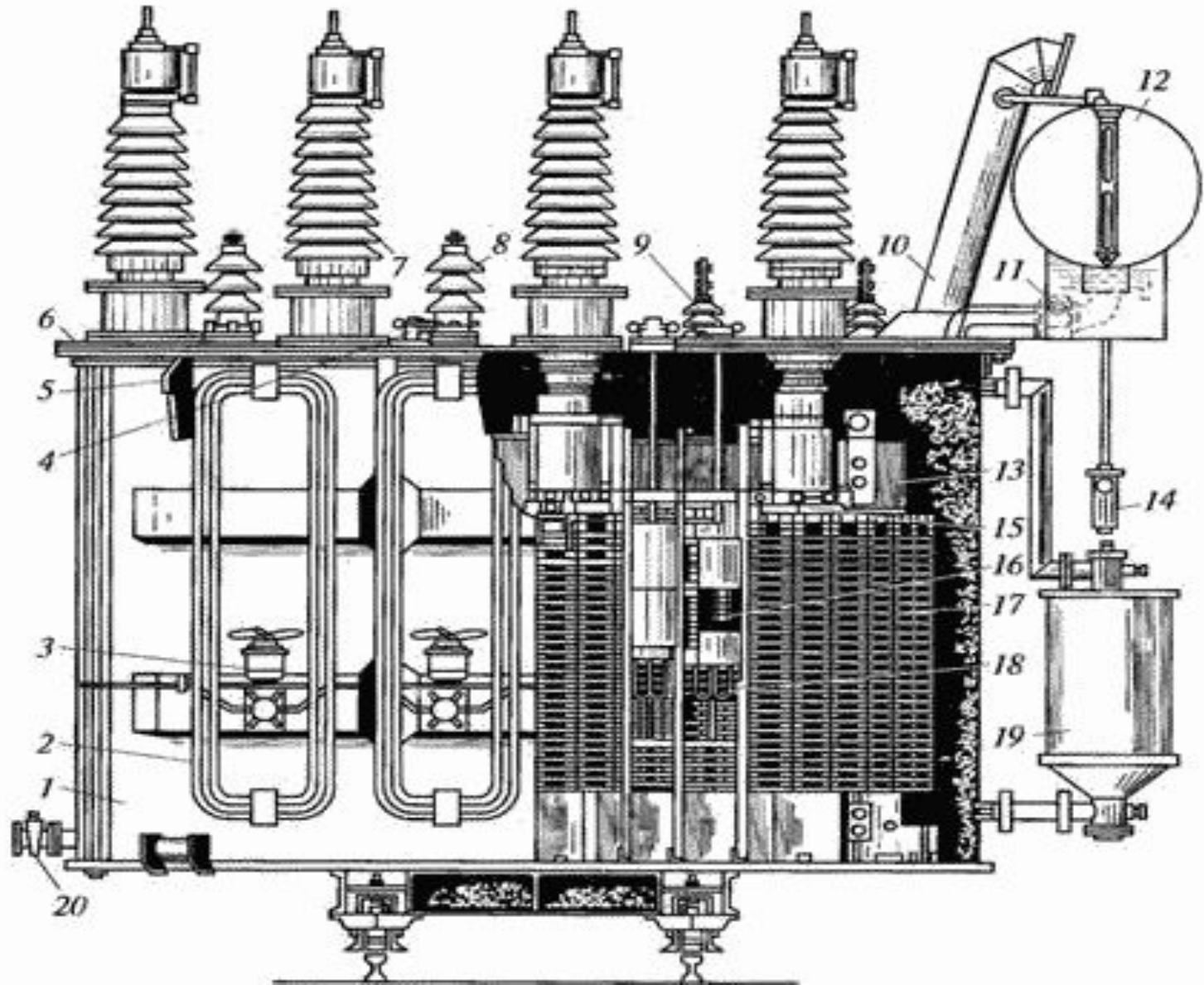
7.4. Обозначение трансформаторов

Буквенные обозначения отражают следующую информацию:

- – число фаз (для однофазных – О; для трехфазных – Т);
- – вид охлаждения (С; М; Д; ДЦ; Ц);
- – число обмоток (для трехобмоточных – Т);
- – наличие устройства РПН (Н);
- – обозначение автотрансформатора (А), ставится на первом месте (перед числом фаз);
- – расщепление обмоток (Р), ставится после числа фаз.

После буквенных обозначений трансформатора указывается его номинальная мощность (кВ·А) и номинальные напряжения (кВ).

Трансформатор типа ТДТГ-16000/110



ТДТГ-16000/110

**Трехфазный
трансформатор (Т)**

**С принудительной
циркуляцией воздуха в
системе охлаждения
(Д)**

**Герметизированная
конструкция бака,
позволяющая исключить
контакт внутреннего объема
трансформатора с
окружающей средой (Г)**

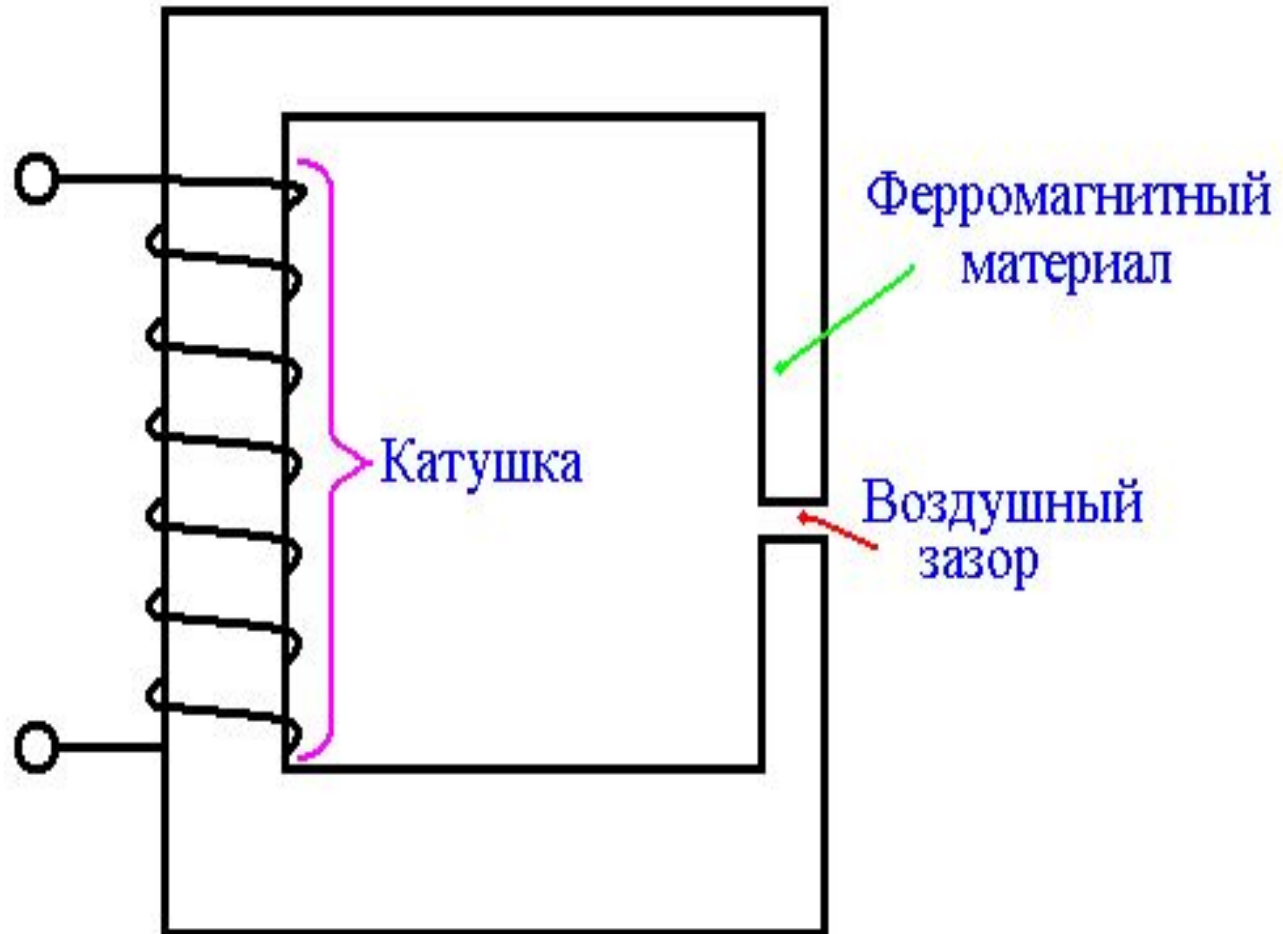
Трехобмоточный (Т)

7.5. Дроссель

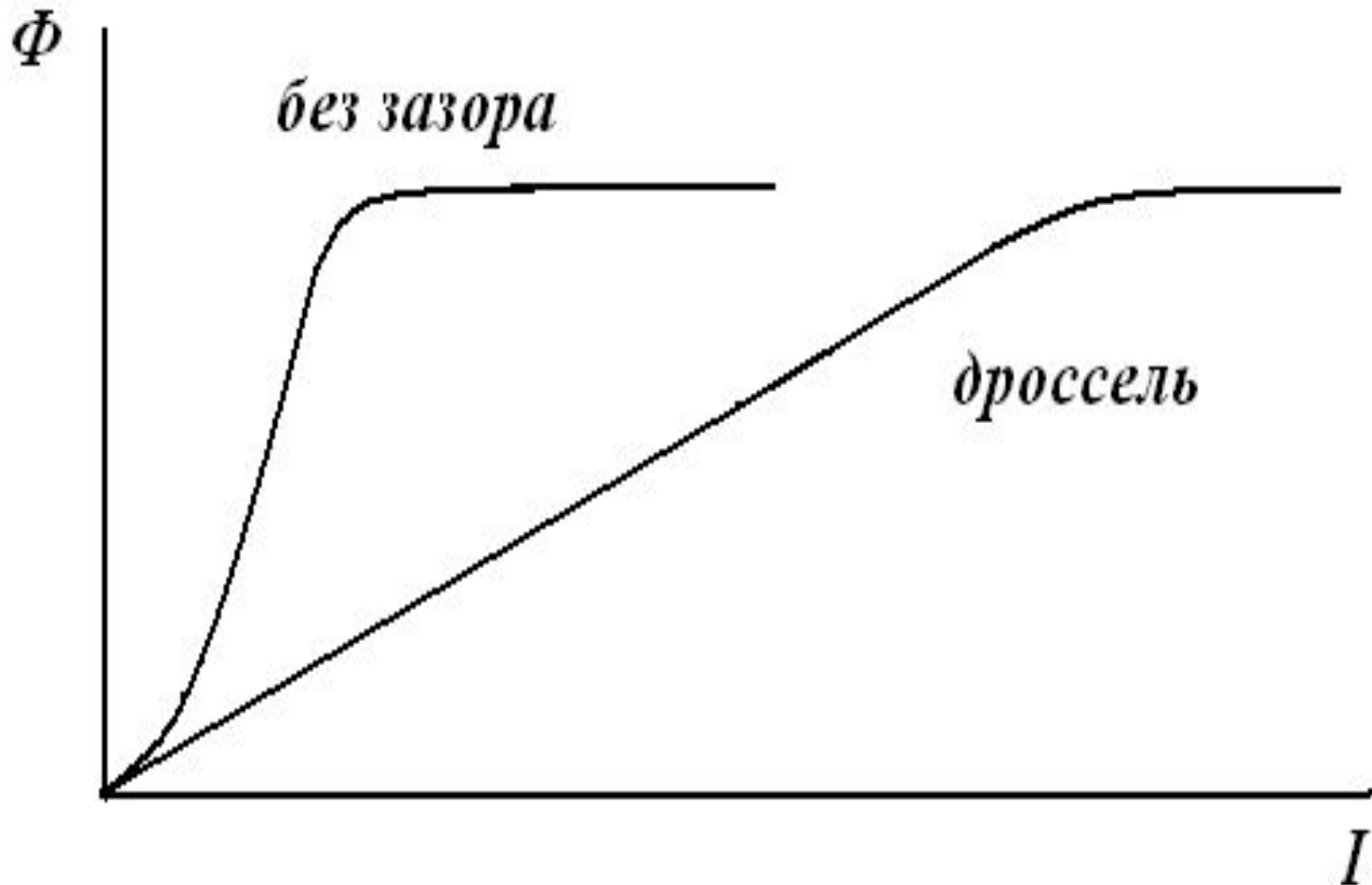
Дроссель – катушка с ферромагнитным сердечником, имеющим зазор для линеаризации ВАХ.

Дроссель должен иметь, по возможности, большую индуктивность при минимальных массе и потерях

Конструкция дросселя



Вебер-амперные характеристики дросселя и катушки с ФМ сердечником без зазора



Выводы:

- 1. Зазор в сердечнике дросселя спрямляет ВАХ, делая ее более линейной. Величина линейного участка зависит от зазора.**
- 2. На линейном участке ВАХ индуктивность дросселя постоянна.**
- 3. При заданном напряжении на катушке увеличение зазора приводит к росту тока намагничивания.**

