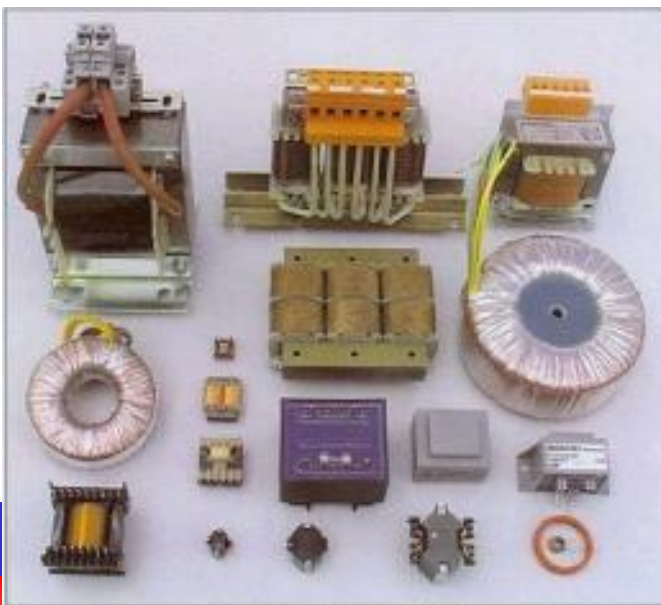


**Дисциплина:**

**Электропитание и  
элементы  
электромеханики**



# Лекция №7

**Тема лекции:**

**Дроссели**

**и трансформаторы**

**ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**



# **Учебные вопросы**

---

- **1. Дроссели источников вторичного электропитания**
- **2. Назначение, классификация и принцип действия трансформатора**
- **3. Режим холостого хода трансформатора**



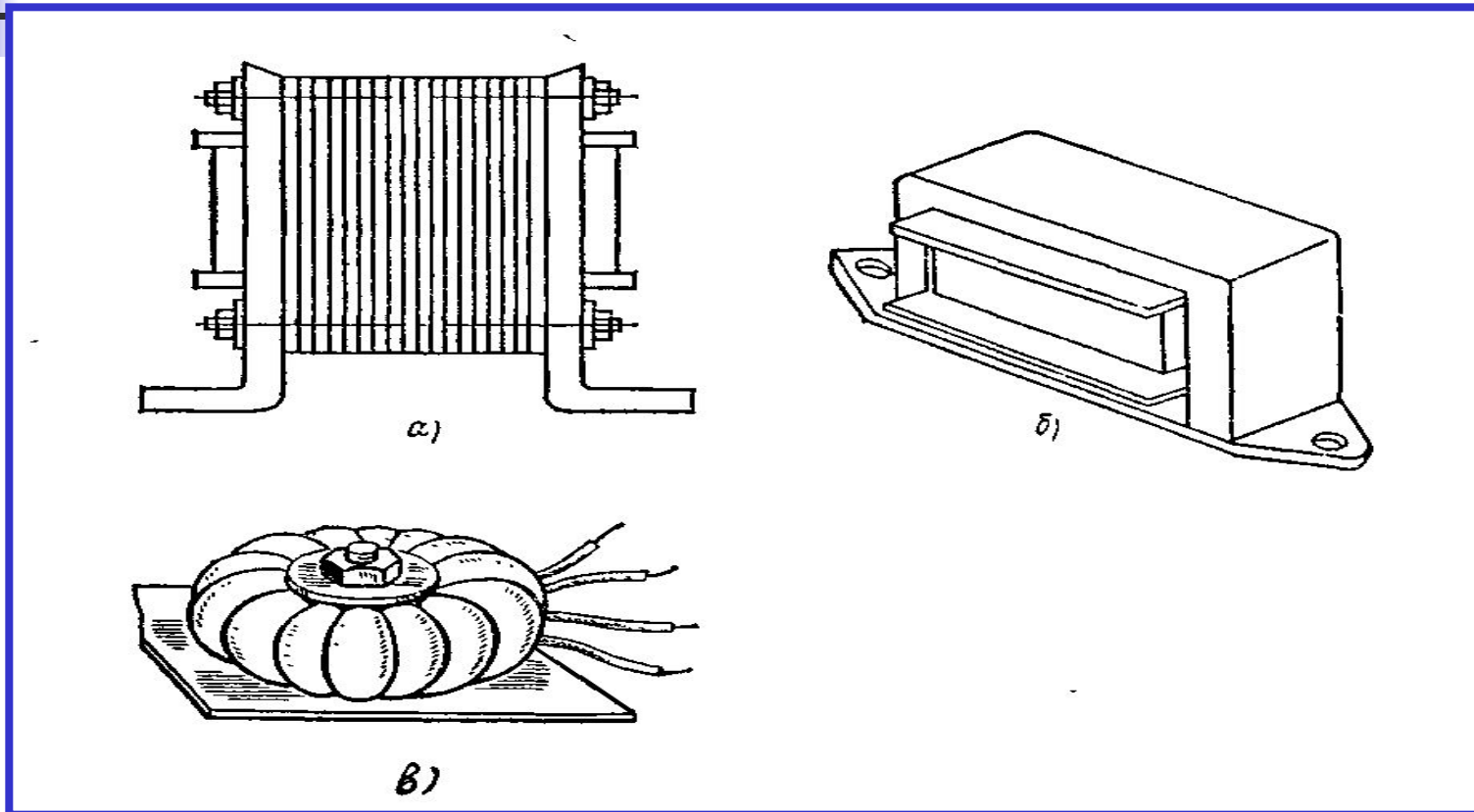
# Литература

---

**1. Немцов М.В.**

**Электротехника и  
электроника: Учебник для  
вузов. – М.: Высш. шк.  
2007, с.183-193, с.196-207**

# Конструкции дросселей

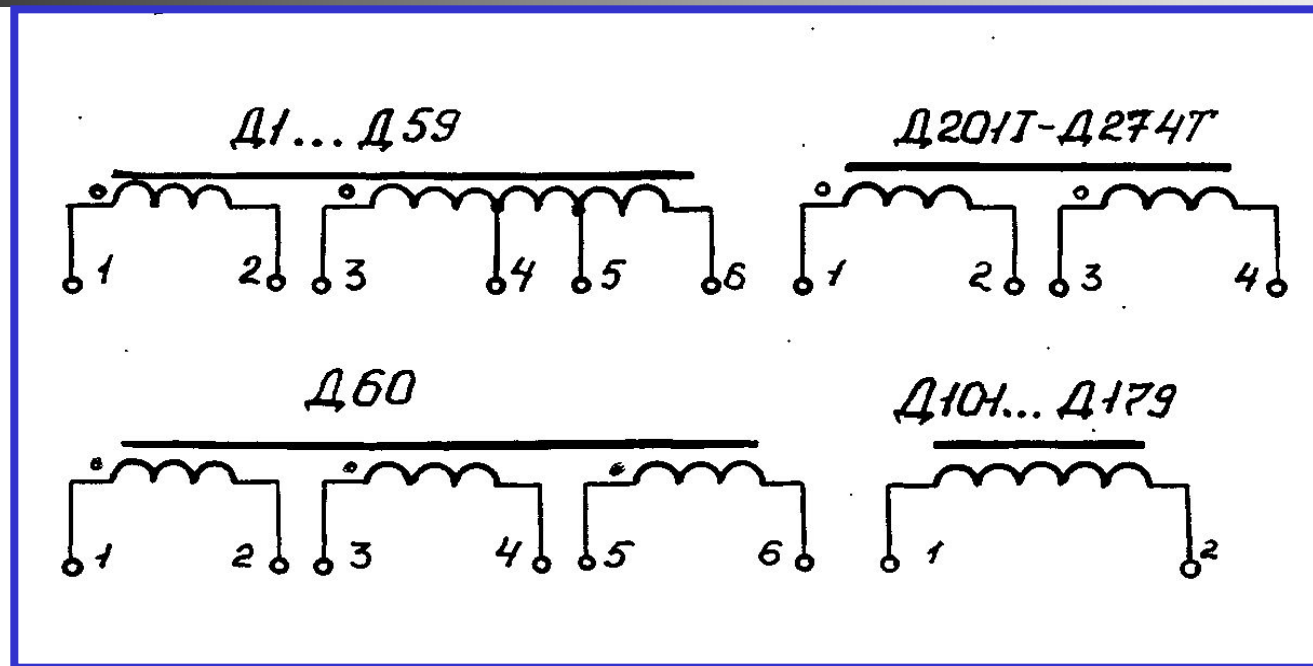


**а, б - прямоугольная форма;  
в - тороидальная форма.**

# ***Дроссели в ИВЭ РЭСБН применяются:***

- в цепях переменного тока в устройствах защиты ИВЭ от коротких замыканий;
- в цепях выпрямленного (пульсирующего) тока с целью уменьшения пульсаций выпрямленного тока в качестве элементов сглаживающих фильтров;
- в цепях управления работой ИВЭ в качестве управляемых реакторов (или дросселей насыщения) если снабжены дополнительными обмотками подмагничивания постоянным током.

# Обмотки унифицированных дросселей



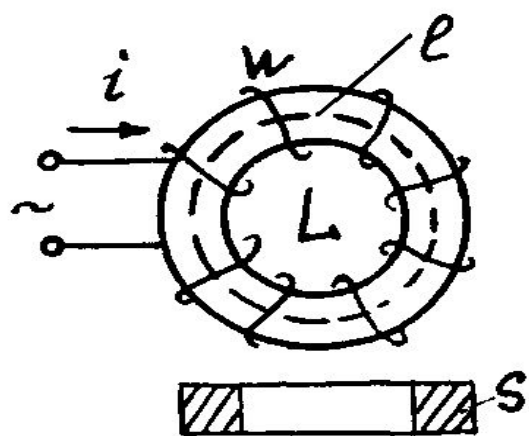
Разнообразие обмоток позволяет включать все обмотки последовательно с исходной основной, согласно (индуктивность дросселя увеличивается) или встречно (индуктивность дросселя уменьшается). Это один из способов подбора (настройки) дросселя по индуктивности.

# **Рассмотрим дроссель тороидальной формы при следующих допущениях:**

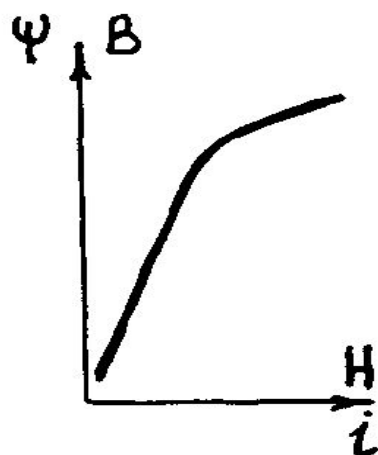
- электрическое сопротивление проводника катушки  $r$  пренебрежимо мало;**
- витки обмотки намотаны так плотно, что рассеяние магнитного потока отсутствует;**
- ферромагнетик магнитопровода имеет узкую петлю гистерезиса, а значит можно вместо нее использовать основную кривую намагничивания;**
- ток изменяется достаточно медленно, а, значит можно использовать статическую кривую намагничивания.**



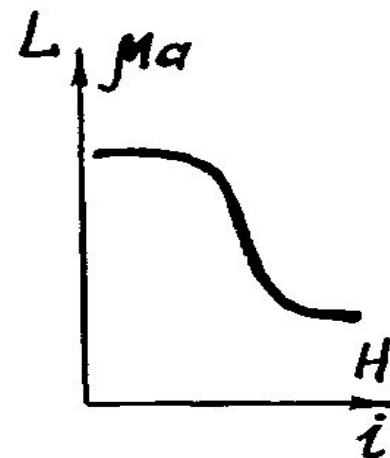
# Индуктивность дросселя



а)



б)



в)

а – схема дросселя, б – кривая намагничивания и вебер-амперная характеристика, в – графики  $\mu\text{a}$  и  $L$  в функции тока

# Индуктивность дросселя

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -w \frac{d\Phi}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt}.$$

$$\Psi = w\Phi$$

$$\Psi = L \cdot i$$

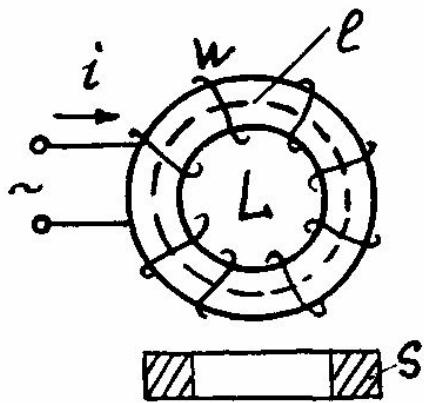
Основная формула для индуктивности  $L$  имеет вид:

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{w\Phi}{i}.$$

По закону полного тока циркуляция вектора напряженности магнитного поля  $H$  по замкнутому контуру  $l$ , совпадающему с длиной средней магнитной линии равна полному току (то есть магнитодвижущей силе  $wi$ ), охваченному этим контуром:

$$\oint_l H \cdot dl = H \cdot l = wi.$$

# Индуктивность дросселя



$$L = \frac{w\Phi}{i} = \frac{wB \cdot S}{i} = \frac{w\mu_a \cdot H \cdot S}{i \cdot l} = w^2 \cdot \frac{S}{l} \cdot \mu_a$$

$$L = w^2 \cdot \frac{S}{l} \cdot \mu_a = L(g, \mu_a),$$

$$H = \frac{wi}{l}; \quad \Phi = B \cdot S$$

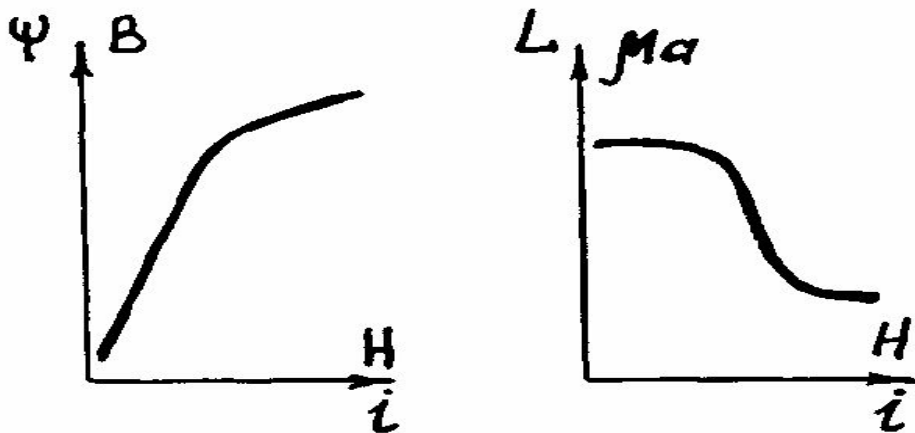
$$B = \mu_a \cdot H$$

где  $\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость ферромагнетика магнитопровода.

**Средства увеличения индуктивности дросселя:**

- увеличение числа витков ( согласно включение нескольких обмоток);
- оптимальным соотношением поперечных и продольных размеров магнитопровода;
- увеличение магнитной проницаемости материала магнитопровода  $\mu_a$ .

# Линейный и нелинейный режимы дросселя



$$B = f(H),$$

$$\Psi = f_1(i)$$

$$L = \Psi / i \text{ и } \mu a = B / H$$

**Вывод:** линейаризация дросселя осуществляется введением в магнитопровод немагнитного ("воздушного") зазора; при этом магнитное сопротивление магнитопровода с зазором возрастает, магнитный поток уменьшается и рабочая точка на вебер-амперной характеристике перемещается на линейный участок.

Таким образом, регулируя ширину воздушного зазора, можно дополнительно регулировать величину индуктивности дросселя.



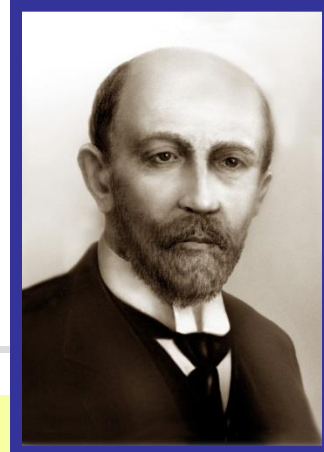
# Назначение трансформаторов

---

- **Трансформатором** называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию переменного тока другого напряжения одной и той же частоты.



# *Изобретатели трансформаторов*



- Приоритет в изобретении первого однофазного трансформатора с разомкнутым магнитопроводом принадлежит **П.Н. Яблочкову**, который создал такой трансформатор в 1875 году для питания электрических свечей. Конструкции первых трехфазных трансформаторов разработал другой русский инженер-изобретатель **М.О. Доливо-Добровольский** в 1890 году.



# *Классификация трансформаторов*

---

- - **по назначению** - силовые, измерительные и специальные;
- - **по числу обмоток** - двухобмоточные и многообмоточные;
- - **по способу охлаждения** - сухие и масляные;
- - **по конструкции магнитопровода** - стержневые, броневые и тороидальные ;
- - **по числу фаз** - однофазные и многофазные.

# Силовые трансформаторы





# Измерительные трансформаторы

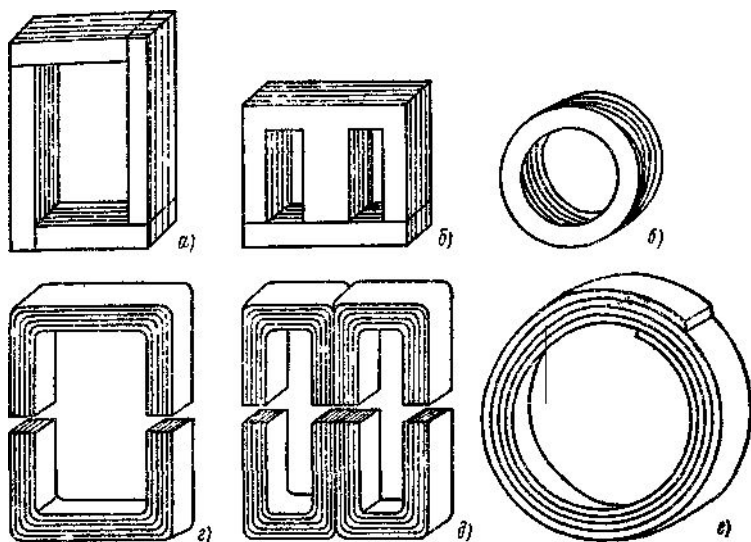


# *Специальные трансформаторы*

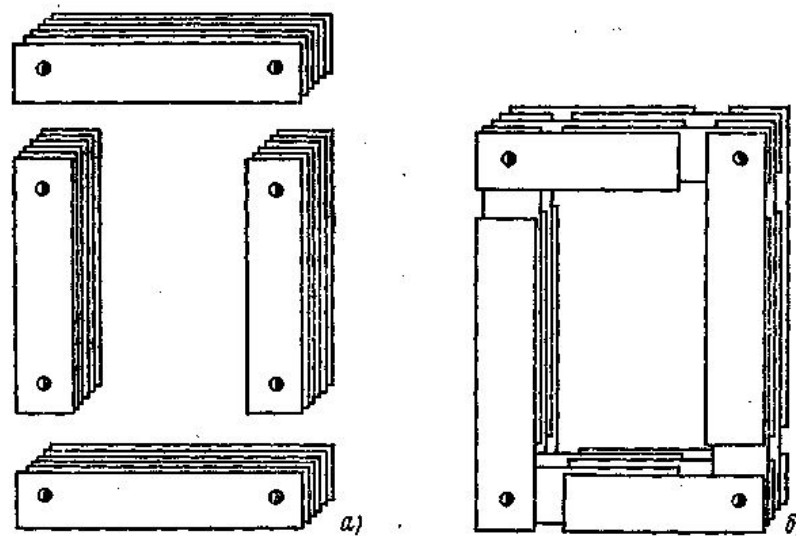


- 1. Применяются в составе оборудования для питания электродуговых сталеплавильных печей, карбидных печей и сварочных аппаратов и приспособленных для работы в закрытых помещениях, защищенных от атмосферных осадков.**
- 2. Предназначены для преобразования напряжения с целью передачи его в контактную сеть для обеспечения электрической энергией поездов и подвижного состава железных дорог и распределения для собственных нужд.**
- 3. Преобразуют напряжение воздушной контактной линии до уровней необходимых для тяговых двигателей или других устройств.**

# Конструкция трансформаторов

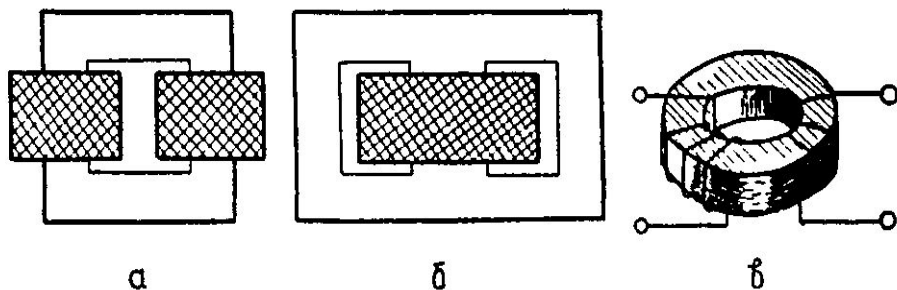


Конструкция магнитопроводов трансформаторов

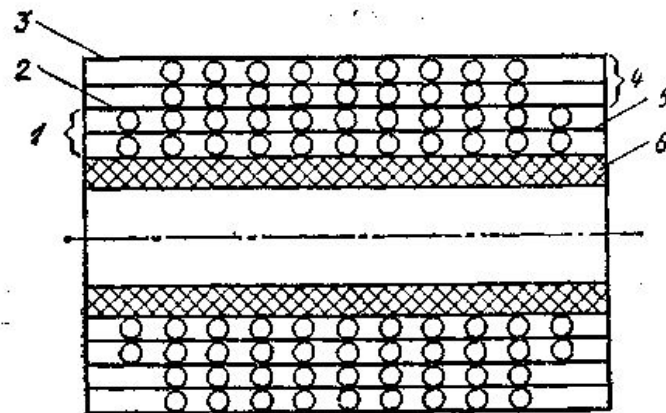
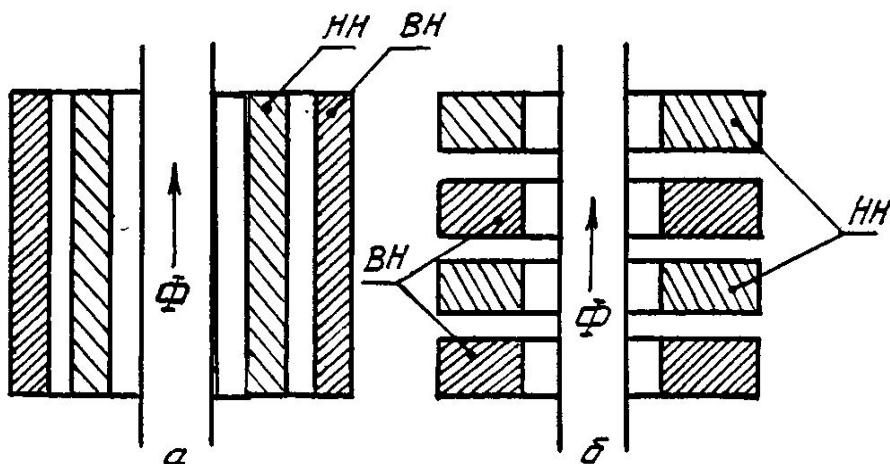


Сборка магнитопровода встык (а) и вперекрышку (б)

# Конструкция трансформаторов

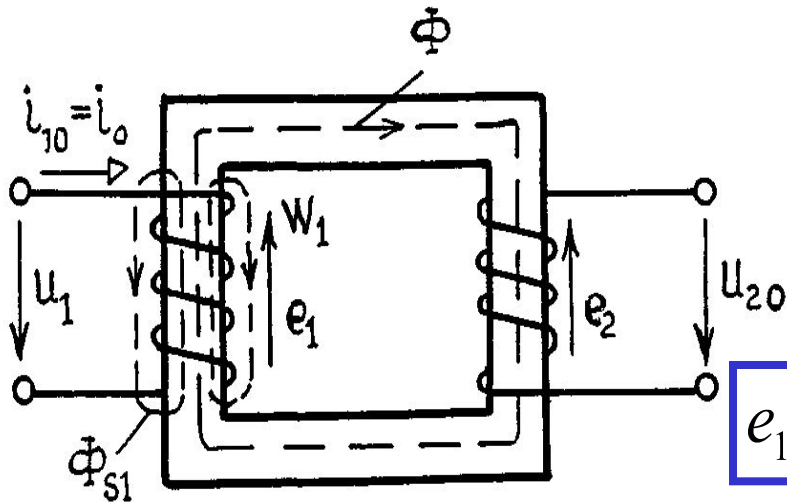


**Основные виды однофазных трансформаторов:**  
а - стержневой; б - броневой;  
в - тороидальный



**Расположение обмоток на гильзе каркаса**

# Режим холостого хода трансформатора



$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

$$e_1 = -\omega w_1 \Phi_m \cos \omega t \quad e_2 = -\omega w_2 \Phi_m \cos \omega t$$

$$E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 f \omega_2 \Phi_m$$

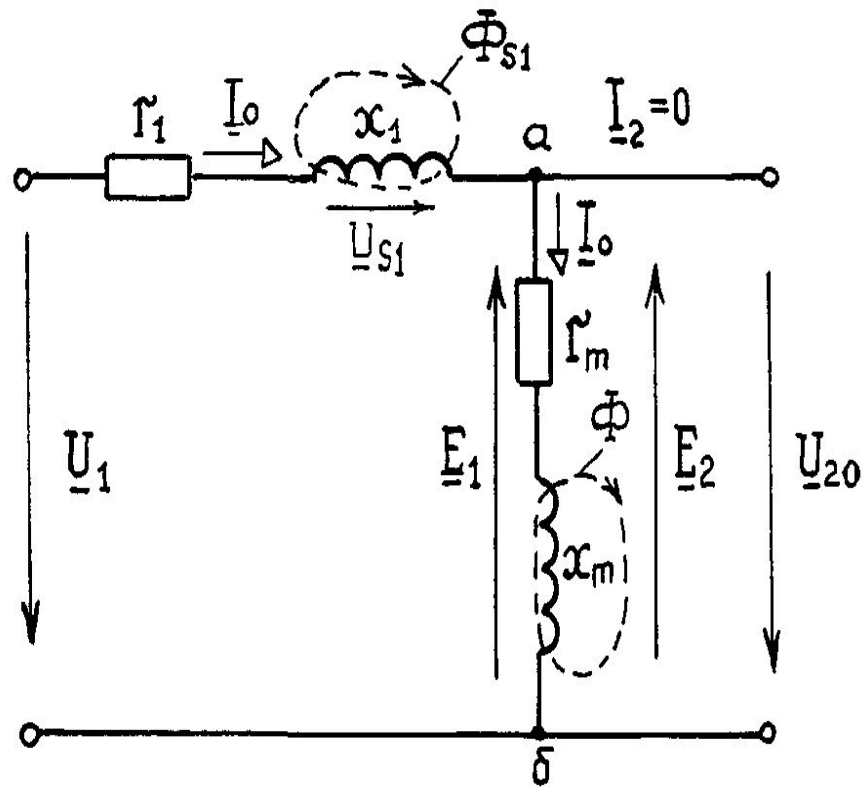
$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \omega w_1 \Phi_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\ e_2 &= \omega w_2 \Phi_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$E_{1m} = \omega w_1 \Phi_m$$

$$E_{2m} = \omega w_2 \Phi_m$$

$$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

# Эквивалентная схема замещения трансформатора в режиме холостого хода



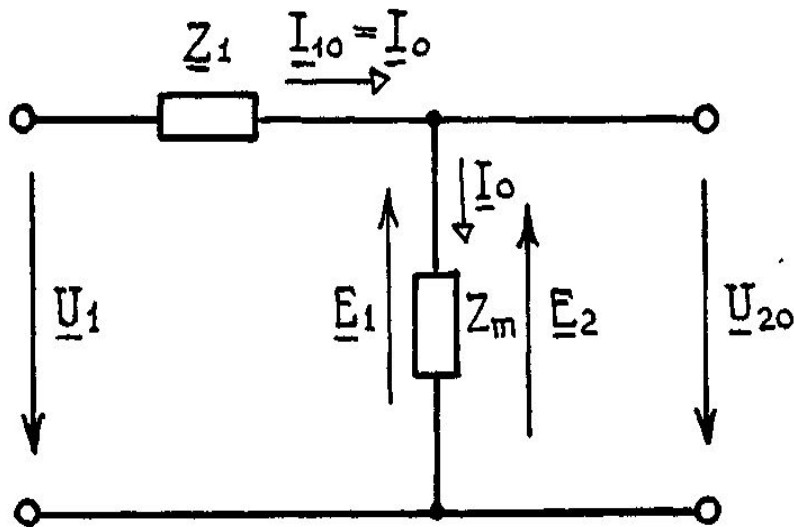
$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 - \underline{E}_{1S} + \underline{I}_{1x} r_1$$

$$-\underline{E}_1 = \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_m = \underline{I}_0 \cdot r_m + j \cdot \underline{I}_0 \cdot x_m$$

$$z_m = |\underline{Z}_m| = \sqrt{r_m^2 + x_m^2}$$

$$-\underline{E}_{s1} = \underline{U}_{s1} = j \underline{I}_0 x_1,$$

# Уравнения равновесия напряжений



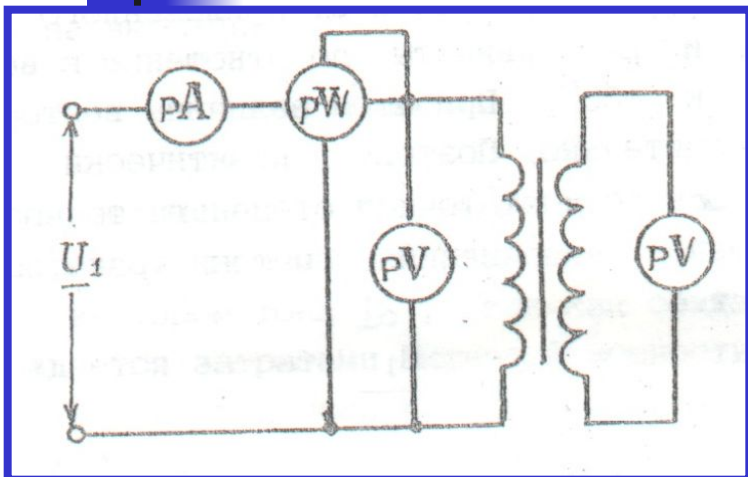
$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + j\underline{I}_0 x_1 + \underline{I}_0 r_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_0 \underline{Z}_1;$$

$$\underline{Z}_1 = r_1 + jx_1$$

$$\underline{E}_2 = \underline{U}_{20}$$

**ВЫВОД:** по отношению к сети трансформатор представляет комплексную нагрузку почти индуктивного характера, при котором приложенное напряжение  $\underline{U}_1$  опережает ток холостого хода  $\underline{I}_0$  на угол, близкий к  $90^\circ$ . Работа трансформатора в этом режиме из-за значительной потребляемой из сети реактивной мощности является нежелательной.

# В опыте холостого хода определяются:

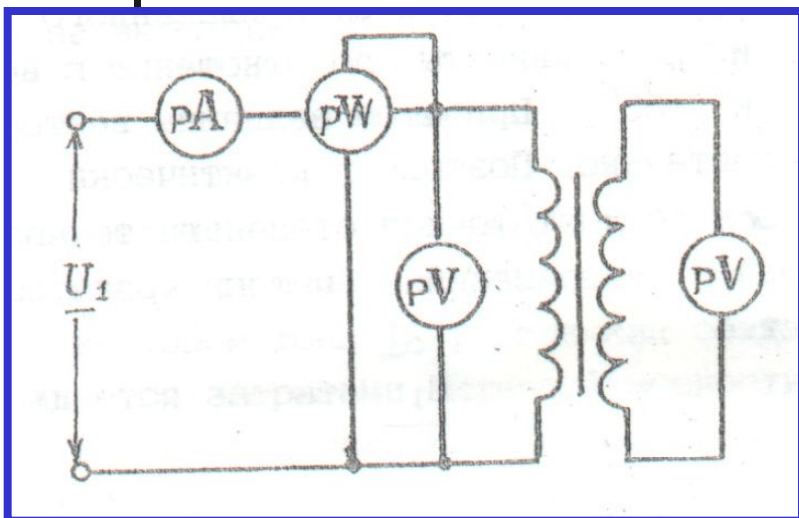


- а) ток холостого хода  $I_0$  (по показанию амперметра, включенного в первичную цепь). При  $U_{10} = U_{1H}$  ток  $I_0$  не должен превышать (3-10%)  $I_{1H}$ ;
- б) потери в стали магнитопровода трансформатора  $P_{ст}$  (по показаниям ваттметра)  $P_0 = I_0^2 r_1 + P_{ст} \approx P_{ст}$ , так как потерями в меди первичной обмотки ввиду малости тока  $I_0$  и сопротивления  $r_1$  можно пренебречь ;
- в) коэффициент трансформации  $n$  (по показаниям вольтметров в первичной и вторичной цепях)

$$n \approx U_{1H} / U_{20}$$



# В опыте холостого хода определяются:



$$r_0 = r_1 + r_m = P_0 / I_0^2, \approx r_m;$$

$$z_0 = |\underline{Z}_1 + \underline{Z}_m| = U_{10} / I_{10} \approx Z_m;$$

г) коэффициент мощности  $\cos\phi$  (по показаниям вольтметра, амперметра и ваттметра в первичной цепи);

$$\cos\phi = P_0 / U_{10} \cdot I_{10}$$

д) параметры схемы замещения трансформатора при холостом ходе:

$$X_0 = X_1 + X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2} \approx X_m.$$