

**Опыты холостого хода и  
короткого замыкания. Потери и  
КПД трансформатора.  
Регулирование напряжения  
трансформатора**

Лекция №21

- Цель: получение характеристик трансформатора

# Опыт холостого хода (ХХ)

- Вторичная обмотка разомкнута, или  $Z_H = \infty$

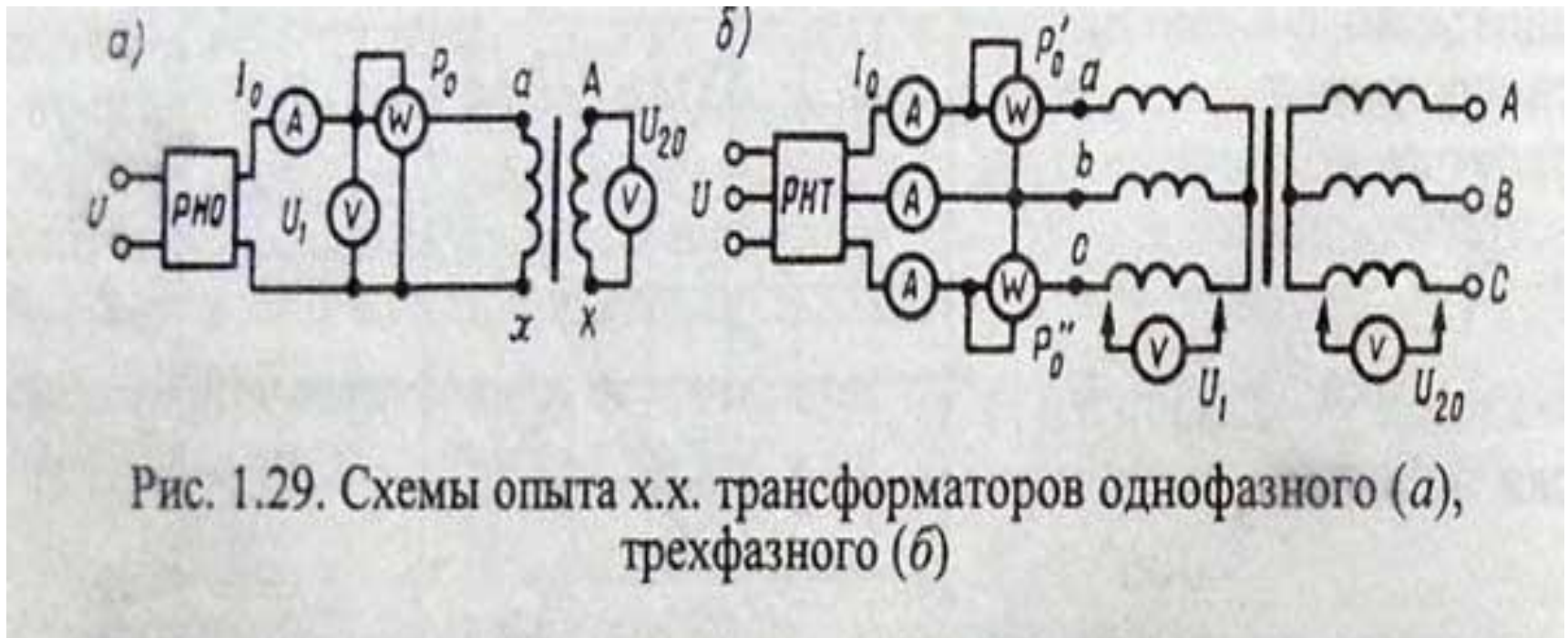
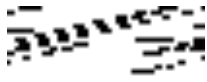


Рис. 1.29. Схемы опыта х.х. трансформаторов однофазного (а), трехфазного (б)

# Ход опыта

- К первичной обмотке подводится  $U$  (от 0,6 до 1,2  $U_H$ )
- ко вторичной — подключен вольтметр, имеющий большое сопротивление
- Считаем ток 
- Полезная мощность трансформатора равна нулю

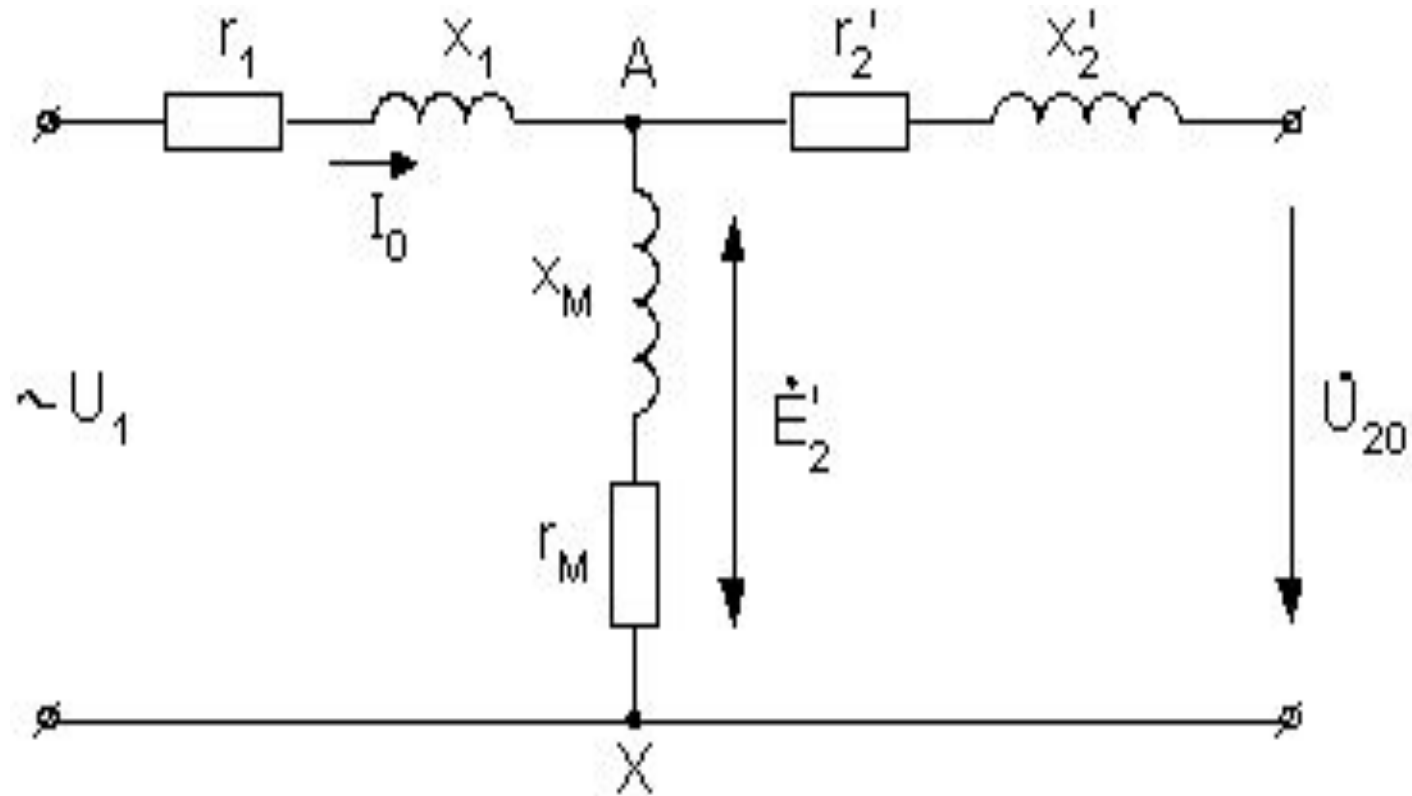
# Входная мощность трансформатора расходуется на:

- **Магнитные потери** в магнитопроводе (потери на вихревые токи и перемагничивание магнитопровода)
- **Электрические потери** в меди первичной обмотки. Такие потери невелики, ими часто пренебрегают
- магнитные потери часто называют **потерями холостого хода.**

# Для трёхфазного трансформатора

- характеристики строят по средним значениям тока и напряжения трёх фаз.

# Схема замещения трансформатора в режиме ХХ



# По данным опыта ХХ можно определить:

- коэффициент трансформации

$$k = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{w_1}{w_2}$$

- **Ток холостого хода** при номинальном напряжении на первичной обмотке (в процентах от номинального):

$$i_0 = \frac{I_{0ном}}{I_{1ном}}$$



- **Параметры намагничивающей ветви схемы замещения**

- – полное сопротивление ветви намагничивания  $z_m = \frac{U_1}{I_0}$

- – индуктивное сопротивление ветви намагничивания  $x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2}$

- или  $x_m = z_m \sin \varphi$

- – активное сопротивление ветви намагничивания  $r_m$ , определяемое из условия

$$r_m = z_m \cos \varphi_0$$

- Коэффициент мощности холостого хода:

$$\cos\varphi = \frac{P_0}{U_1 I_0}$$

- $P_0$  - мощность, потребляемая в режиме хх

$$P_0 = I_0^2 r_m$$

# Проверка

- Обычно в силовых трансформаторах средней и большой мощности ток холостого хода составляет 0,6 – 10% от номинального. Если эти значения сильно завышены, то это говорит о повреждениях в трансформаторе.

# Характеристики холостого хода

- Зависимость  $P_0$ ,  $z_0$ ,  $r_0$  и  $\cos\varphi$  от напряжения  $U_1$

# Опыт короткого замыкания (КЗ)

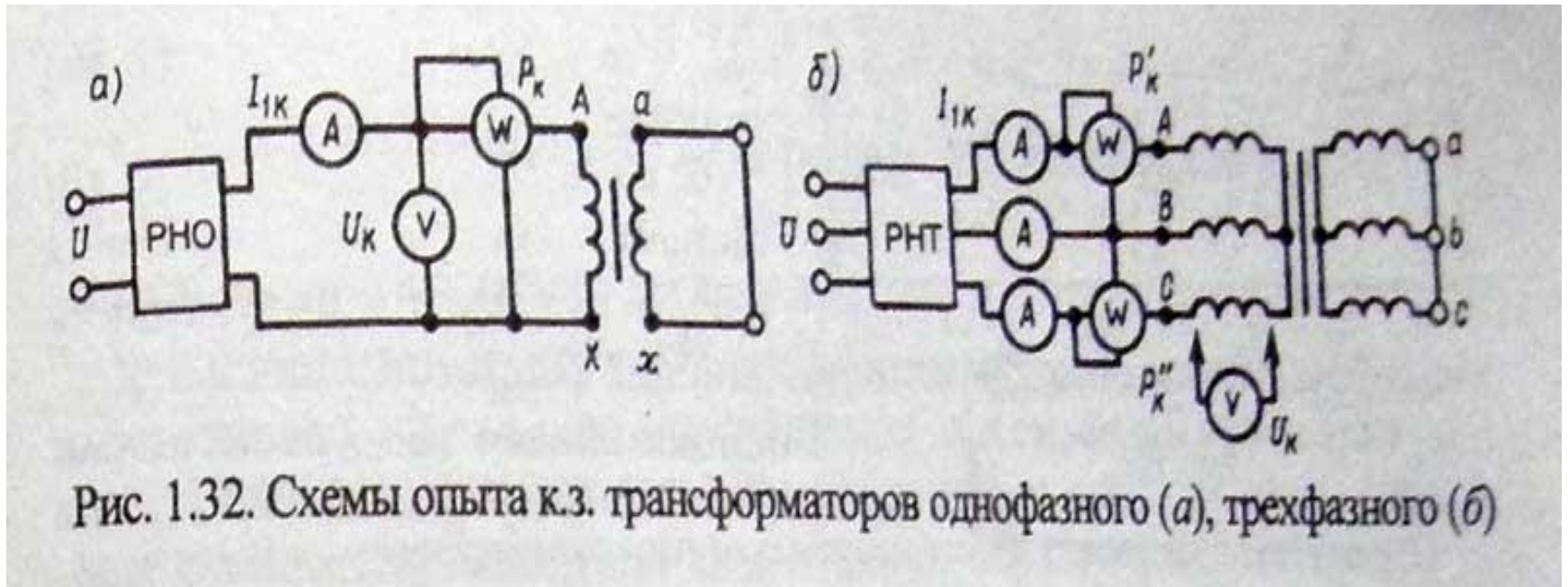


Рис. 1.32. Схемы опыта к.з. трансформаторов однофазного (а), трехфазного (б)

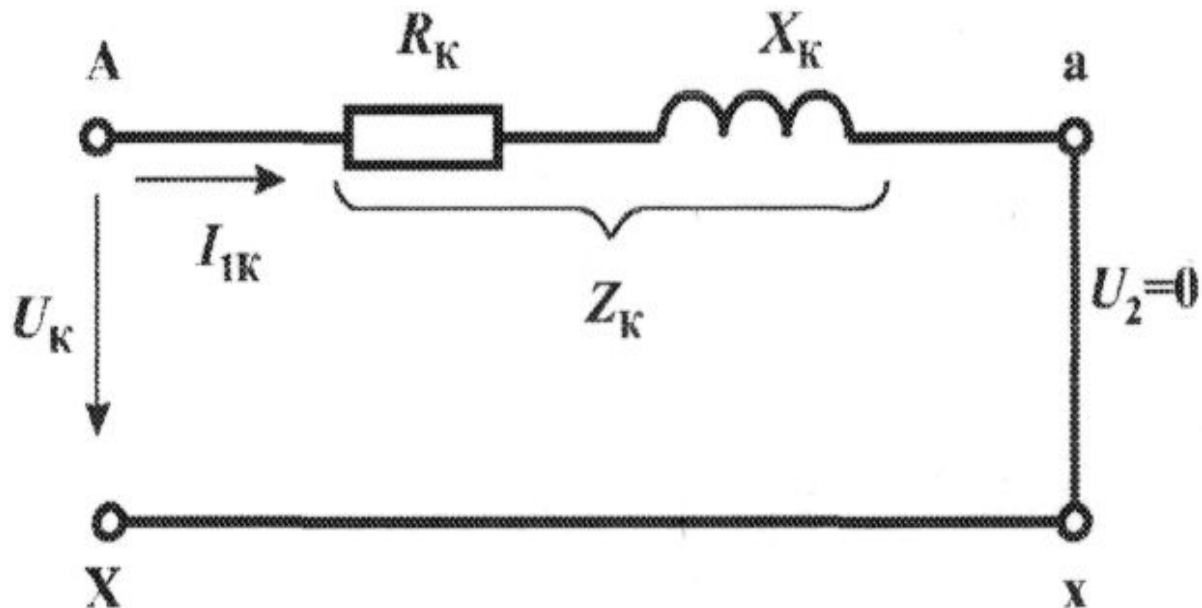
В этом режиме вторичная обмотка замкнута накоротко, вторичное напряжение равно нулю.

# Ход опыта

- К первичной обмотке подводят пониженное напряжение (иначе токи обмоток превысят номинальные) и повышают его до - **номинального напряжения короткого замыкания**, при котором токи в обмотках равны номинальным. (обычно составляет всего 5–10 % от  $U_{1н}$ )

$$U_{k\%} = \frac{U_k}{U_{1ном}} 100\%$$

- Т. к. подводимое  $U$  мало (и  $\Phi$  тоже мало), то магнитными потерями можно пренебречь, вся подводимая мощность расходуется на нагрев обмотки, т. е. магнитную цепь можно отбросить



- Схема замещения в режиме КЗ

# Расчетные параметры КЗ

- Измеряют ток  $I_{1K}$ , напряжение  $U_K$  и мощность  $P_K$  и рассчитывают значения

$$Z_K = \frac{U_K}{I_{1K}}; R_K = \frac{P_K}{I_{1K}^2}; X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2};$$



- Мощность КЗ почти полностью уходит на покрытие потерь в обмотках

$$P_k = I_{1k}^2 r_1 + I_{1k}^2 r_2' = I_{1k}^2 r_k$$

# Потери и КПД трансформатора

$$\eta = P_2 / P_1$$

- где  $P_2$  – мощность, отдаваемая (полезная) вторичной обмоткой;
- $P_1$  – мощность подведенная (затраченная) к первичной обмотке.

$$P_1 - P_2 = \Sigma P$$

- **Магнитные потери** – это потери мощности в магнитопроводе на гистерезис и на вихревые токи.

$$P_{\text{маг}} = P_{\text{ст}} = P_{\Gamma} + P_{\text{вх}} = P_0$$

- -это потери хх, постоянные.

- **Электрические потери** – это потери, связанные с нагревом обмоток трансформатора
- Зависят от коэф-та нагрузки

$$\beta = I_1 / I_{1H} = I_2 / I_{2H}$$

# Полезная мощность

$$P_2 = m U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

- где  $m$  – число фаз
- при  $m = 1$

$$P_2 = \beta S_H \cos \varphi_2$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_2 + \Sigma P}$$

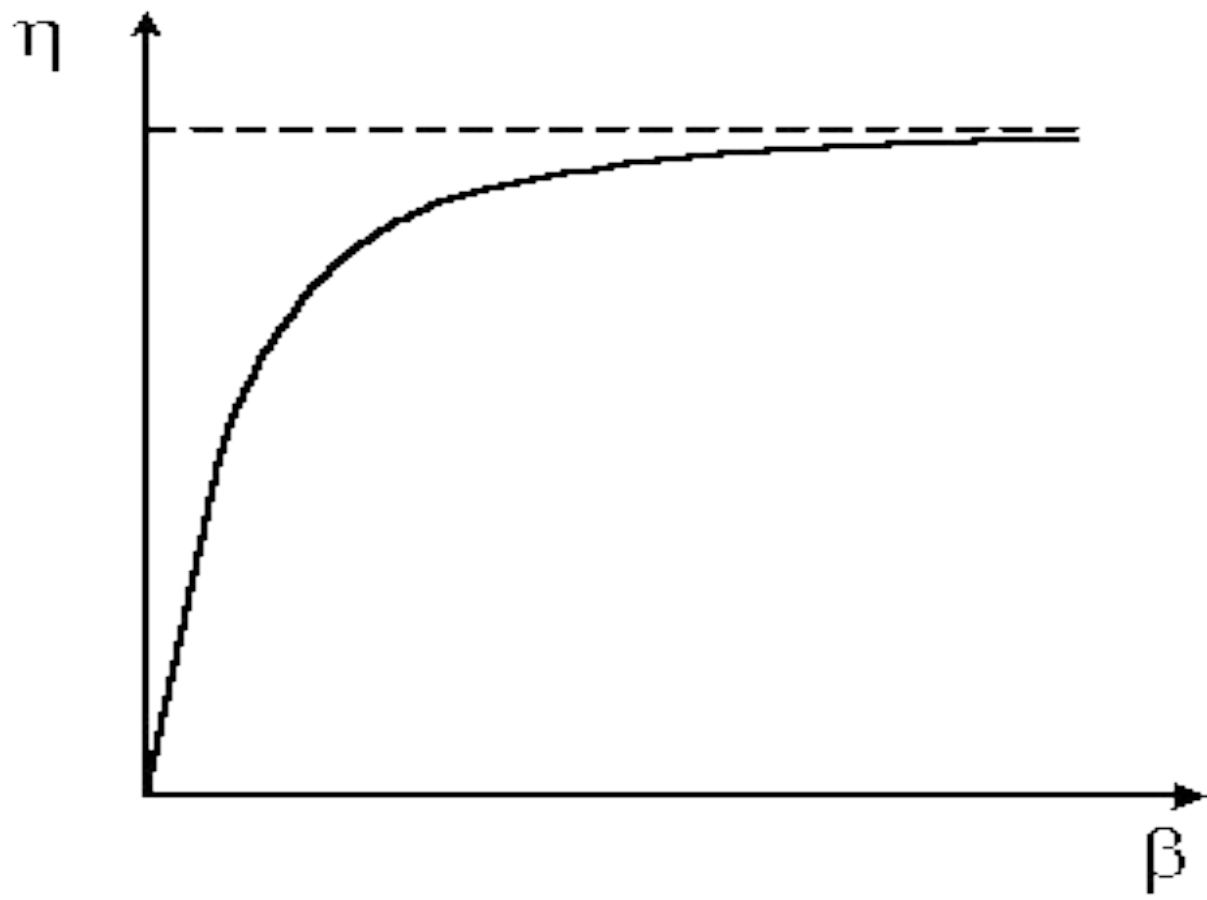
$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{KH}}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{KH}}$$

- Максимальное значение КПД соответствует такой нагрузке, когда магнитные потери равны электрическим потерям

$$P_0 = \beta^2 P_{KH}$$

$$\beta = \sqrt{P_0 / P_{KH}}$$

- идеально 0,45 – 0,65, то есть приблизительно половине номинальной мощности





# Регулирование напряжения трансформаторов

- отклонение напряжения у потребителей не должно превышать 5 %.
- Проще регулировать  $U$  путем изменения коэф-та трансформации (т. е. кол-ва витков, делают ответвления и ставят переключатель)

Чаще изменяют у первичной обмотки (ВН), т.к.

- - у нее большее кол-во витков и регулировка будет точнее
- - ее ток, а значит и сечение провода меньше, т.е. отпайки для регулирования сделать проще.

# Бывает регулировка

- ПБВ – переключение ответвлений обмотки со снятием напряжения (переключение без возбуждения), страдают потребители
- РПН – регулировка под напряжением (используют токоограничивающие реакторы (у большой мощности), автотрансформаторов со скользящими контактами (у тр-ов малой и средней мощности)).