

*Режимы работы, опыты.  
Рабочие характеристики трансформатора.*

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{м}}$$

- $P_{\text{ст}} \approx \sigma B_m^2 G_{\text{ст}} (f^*)^2 \Rightarrow P_{\text{ст}} \sim U_1^2$
- где :  $f^* = f / 50 \text{ гц}$
- $P_{\text{м}} = I^2 * R \Rightarrow P_{\text{м}} \sim I_1^2$

*Опыт холостого хода*

Рис.

Для проведения опыта холостого хода необходимо разомкнуть концы вторичной обмотки, а к первичной обмотке подвести *номинальное* напряжение

По определению:  $K_{\text{тр}} = e_{10} / e_{20}$

$$\text{т.к } \underline{I_2 = 0} \Rightarrow \underline{\Delta U_i = 0}$$

$$K_{\text{тр}} = U_{1\text{н}} / U_{2\text{н}}$$

$$P_{\text{ст}} \gg P_{\text{м}}$$

$$P_x \approx P_{\text{ст}}$$

**{O<sub>x</sub>}** условия

- $I_2 = 0$
- $I_1 = I_{1\text{x}} \ll I_{1\text{н}}$
- $U_1 = U_{1\text{н}}$

- $P_x = ?$
- $K_{\text{тр}} = ?$

$$\Rightarrow \underline{Z_x \approx X_x}$$

## Опыт короткого замыкания

Рис.

Для проведения опыта короткого замыкания необходимо замкнуть накоротко концы вторичной обмотки, а к первичной обмотке подвести такое напряжение (в интервале 3-5% номинального), при котором ток первичной обмотки равен номинальному первичному току

$\{O_K\}$  УСЛОВИЯ

- $I_2 \gg 0$
- $I_1 = I_{1H} \gg I_{1X}$
- $U_{1K} \ll U_{1H}$

- $P_K = ?$
- $\Delta U_{\%} = ?$

$$\text{т.к. } \underline{I_2} \gg 0 \text{ и } \underline{U_{1K}} \ll \underline{U_{1H}}$$

$\Rightarrow$

$$P_K \approx P_M$$

$$\Delta U_{\%} = U_{1K \text{ акт}} * \cos \varphi_K$$

$$\cos \varphi_K = P_K / (U_{1K} * I_{1H})$$

$$P_K \approx P_M$$

$\Rightarrow$

$$\underline{Z_K} \approx \underline{R_K}$$

### *Косвенный метод определения КПД*

- $\eta = P_2 / P_1$



$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{ст}} + P_{\text{м}}}$$

но т.к.  $\underline{P_2 = 0}$  | ( $O_x$  и  $O_k$ ), то  $S_{\text{ном}} \Rightarrow P_2$   
|  $O_x \Rightarrow P_x$   
|  $O_k \Rightarrow P_k$

Где  $S_{\text{ном}}$  – габаритная мощность трансформатора  
(берётся из паспортных данных)

*Отсюда*

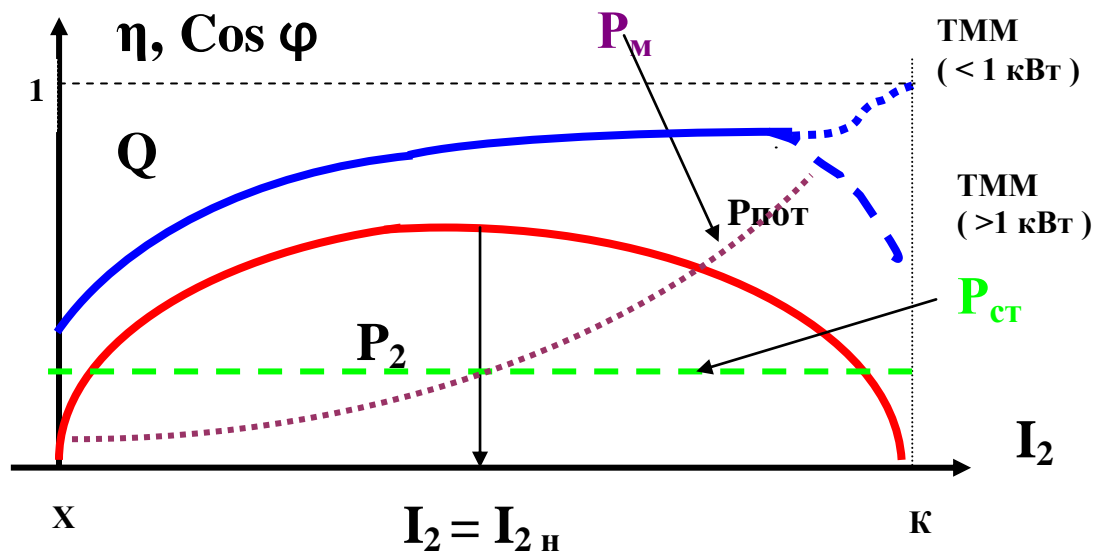


$$\eta_{\text{косв}} \approx \frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{ном}} + P_x + P_k}$$

## Рабочие характеристики трансформатора

$$(\eta, \cos \varphi, U_2, I_1) = f(I_2) \quad \text{при} \quad U_1 = \text{const}; \\ \varphi_H = \text{const}$$

$$\text{I) } (\eta, \cos \varphi) = f(I_2) \quad \text{при} \quad U_1 = \text{const}; \\ \varphi_H = 0$$



- КПД:  $\eta = P_2 / P_1; \quad P_2 = U_2 * I_2$

Холостой ход:  $I_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0 \Rightarrow \eta_X = 0$

Короткое замыкание:

$$U_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0 \Rightarrow \eta_K = 0$$

$$\eta = \max \Rightarrow \beta^2 * P_M = P_{cn},$$

где  $\beta \approx I_2 / I_{2H}$  - коэффициент загрузки трансформатора по мощности (0.5 – 0.75)

- Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ):

$$\cos \varphi = P_1 / P_{\text{вх}}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_2 + P_{\text{ст}} + P_{\text{м}}}{P_{\text{вх}}}$$

*Холостой ход:*

$$P_2 = 0 \Rightarrow P_{\text{х}} \approx P_{\text{ст}} \Rightarrow \cos \varphi_{\text{х}} \ll 1$$

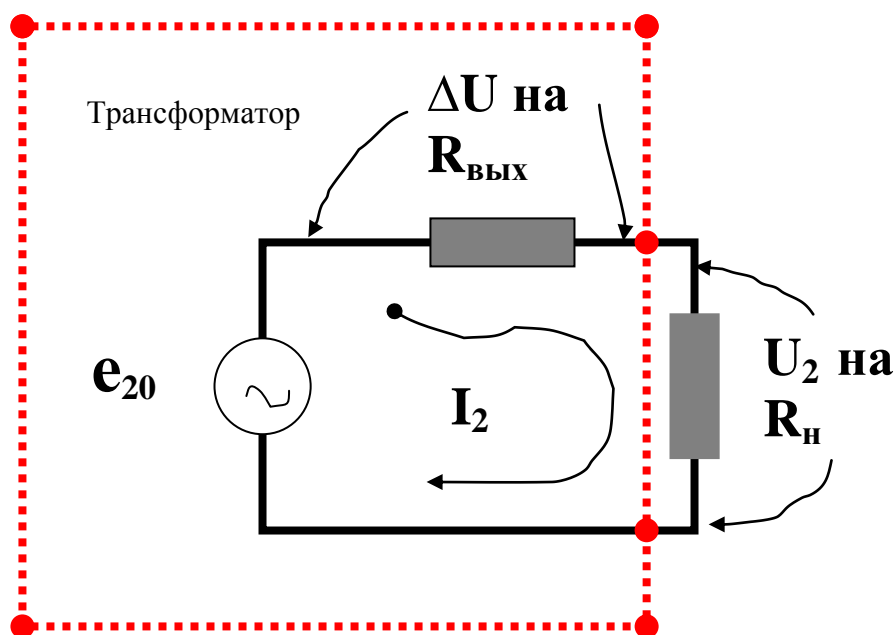
*Нагрузка:*

$$P_2 \gg 0, \quad P_{\text{м}} \uparrow, \quad P_{\text{ст}} = \text{const} \Rightarrow \cos \varphi_{\text{н}} \uparrow$$

- Внешняя характеристика

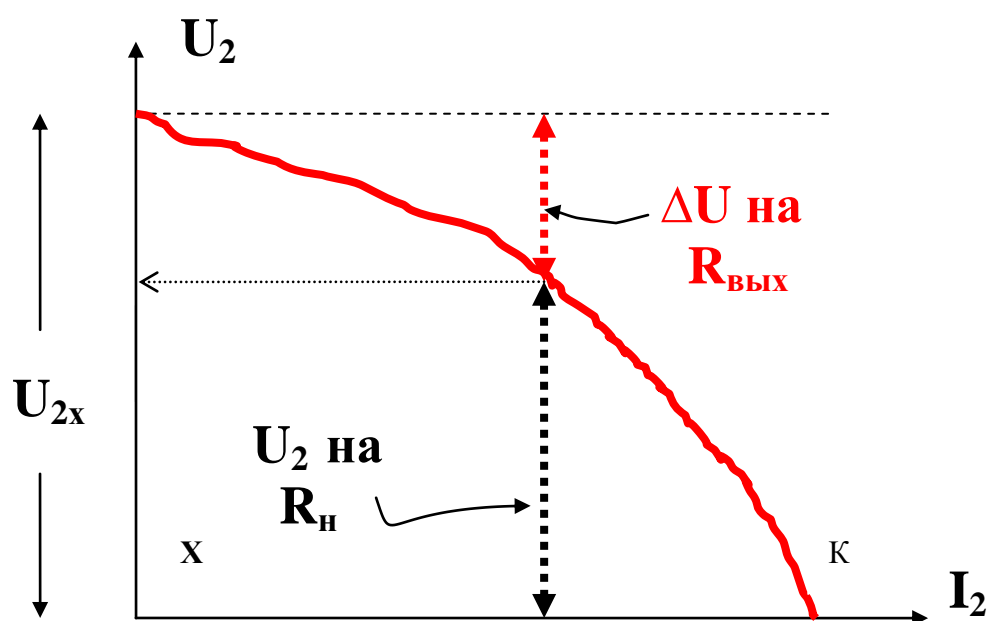
$$(U_2) = f(I_2) \quad \text{при} \quad U_1 = \text{const};$$

$$\varphi_{\text{н}} = 0$$



$$e_2 = \Delta U_{\text{ВЫХ}} + U_2 = I_2 * R_{\text{ВЫХ}} + I_2 * R_{\text{н}}$$

**Внешняя характеристика** это зависимость выходного напряжения трансформатора  $U_2$  от тока нагрузки  $I_2$  при постоянстве входного напряжения  $U_1$  и угла нагрузки  $\varphi_n$



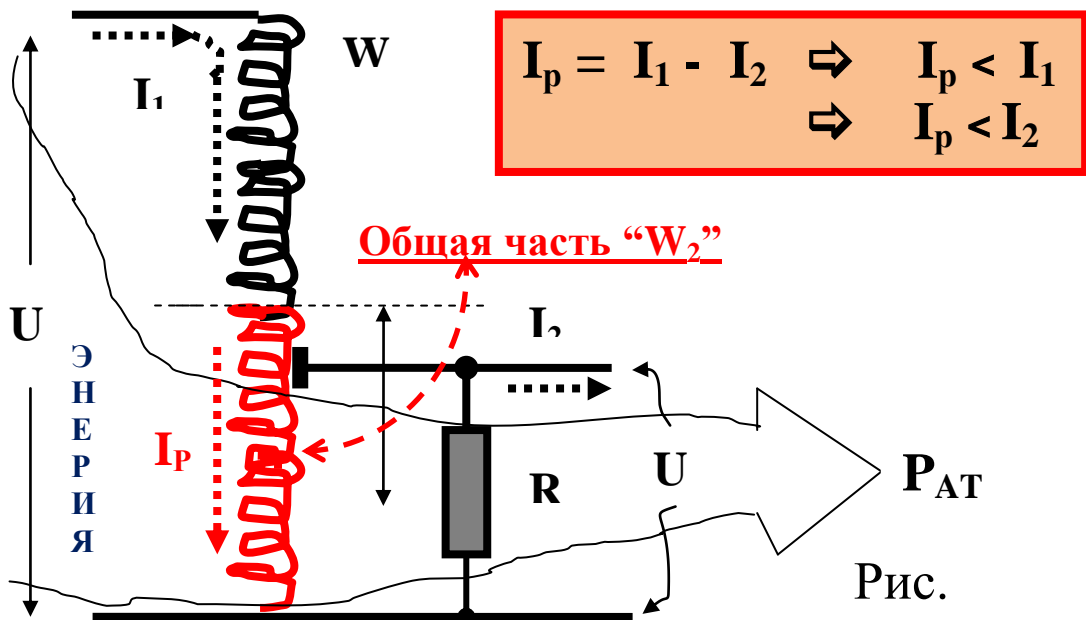
Выходное напряжение снижается с ростом тока нагрузки из-за роста падения напряжения на выходном сопротивлении трансформатора

## Специальные трансформаторы

### Автотрансформатор

Автотрансформатор (АТ) это трансформатор, у которого часть обмотки является общей для первичной (источник) и вторичной (нагрузка) сторон

АТ не обеспечивает гальваническую развязку и основной объём энергии источника передаётся электрическим путём, а не магнитным. Т.е. закон электромагнитной индукции по сути не используется



1. Разностный ток  $I_p$  значительно меньше тока  $I_1$ , поэтому диаметр общей части можно уменьшить, а, значит, уменьшить объём и потери в общей части  $P_m$ .

2. При сравнении трансформатора и автотрансформатора, имеющих одинаковые значения входного и выходного напряжений, вычисляя проходную мощность  $P_{AT}$  автотрансформатора и сравнивая с выходной мощностью  $P_2$  трансформатора, можно видеть, что  $P_{AT} < P_2$ . Поэтому объём магнитопровода можно уменьшить и, тем самым, снизить потери в магнитопроводе

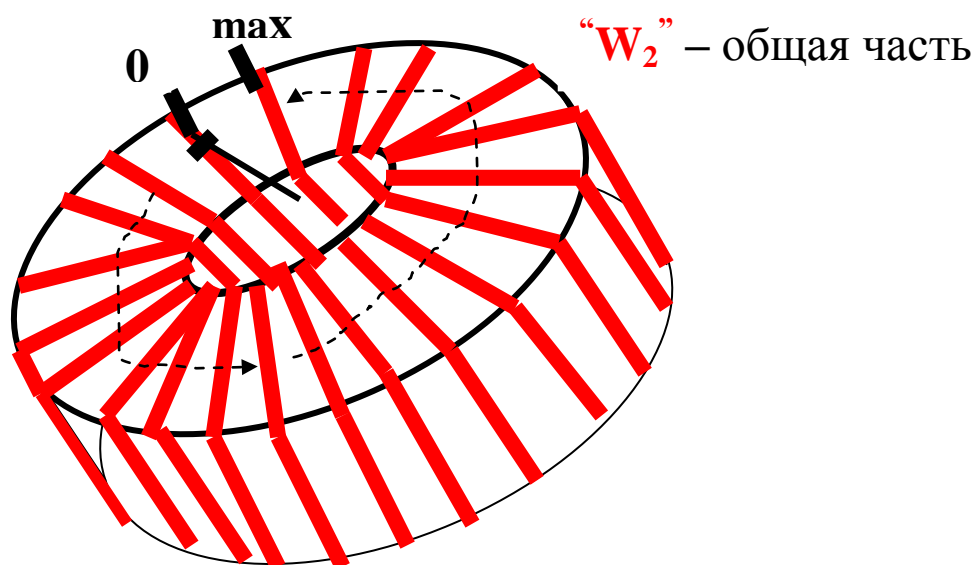
$$P_{ат} = U_2 * I_p < P_2 = U_2 * I_2 \Rightarrow U_{2 ат} = U_{2 тр}$$

$$P_{АТ} < P_2 \quad \text{при} \quad U_{1 ат} = U_{1 тр} \\ I_p < I_2$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ V_{ат} & < & V_{тр} \\ \eta_{ат} & > & \eta_{ат} \end{array}$$

### *Конструкция автотрансформатора*

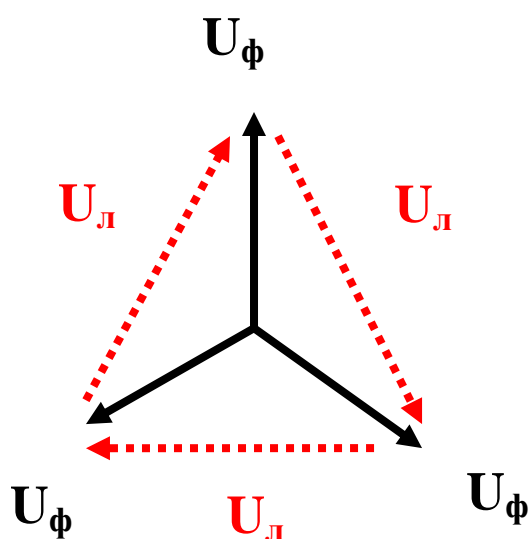
Нельзя допускать, чтобы при движении для изменения напряжения  $U_2$  **скользящий контакт** вышел из общей части (вторичная обмотка), т.к. при этом по общей части потечёт весь потребляемый автотрансформатором ток  $I_1$ . Диаметр провода в общей части меньше, будет превышена предельная плотность тока и обмотка выгорит. Поэтому часть первичной обмотки  $W_1$  - " $W_2$ " наматывается на магнитопровод и изолируется. Сверху наматывается общая часть и скользящий контакт не может выйти за пределы общей части.





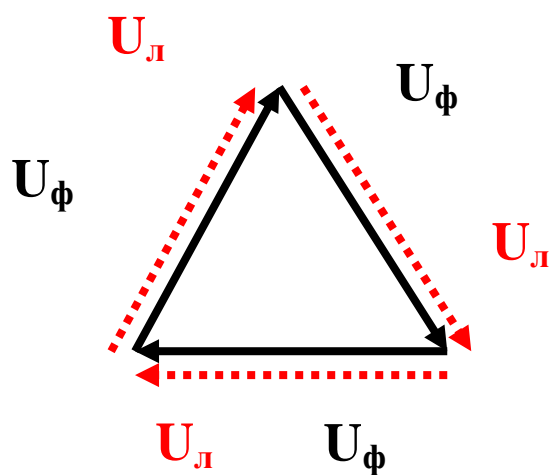
- **Трёхфазные трансформаторы**

В 3-х фазных системах снабжения потребителей переменным током имеют место два способа соединения: «звезда» и «треугольник». «Звезда» имеет реальный нуль, а у «треугольника» нуль мнимый. Поэтому на базе «звезды» возможно создание независимых систем электроснабжения. Имеют место 4 способа соединения обмоток: звезда/звезда, звезда/треугольник, треугольник/звезда, треугольник/треугольник



$$U_{\text{Л}} = \sqrt{3} U_{\text{Ф}}$$

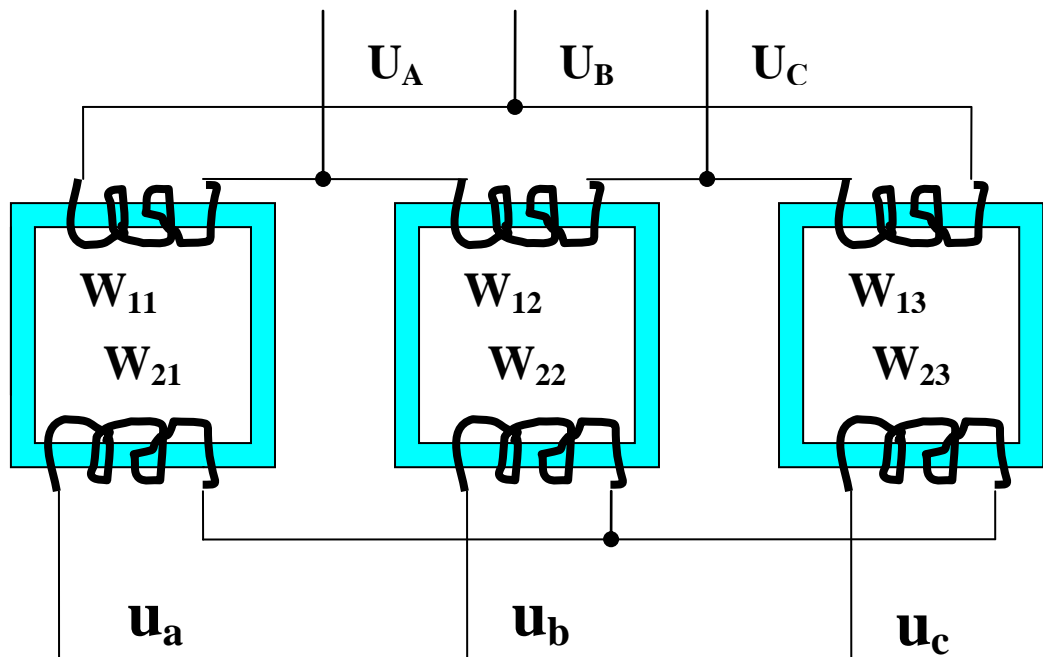
$$I_{\text{Л}} = I_{\text{Ф}}$$



$$U_{\text{Л}} = U_{\text{Ф}}$$

$$I_{\text{Л}} = \sqrt{3} I_{\text{Ф}}$$

### *Групповой метод*



### *Стержневой метод*

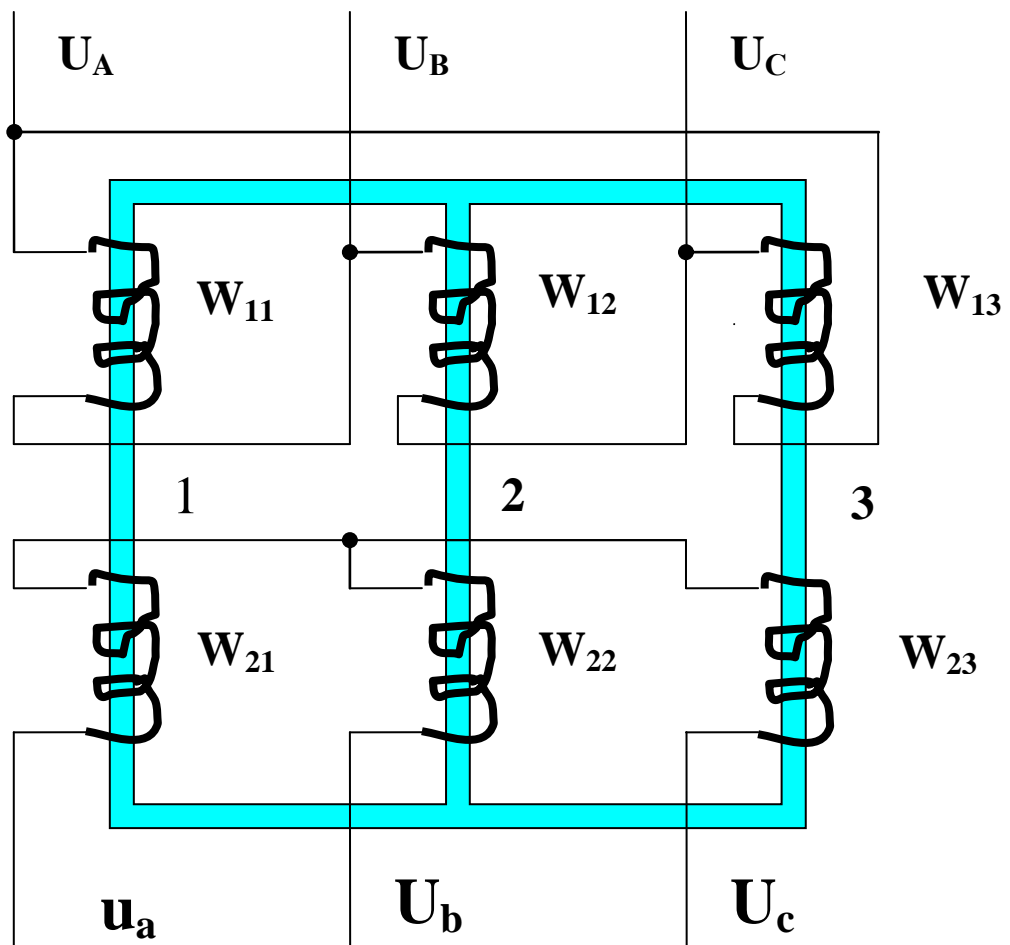


Рис.