

ЛЕКЦИЯ №2

Тема: «Измерительные ТТ»

Вопросы лекции:

1. Назначение трансформаторов тока.
2. Классификация трансформаторов тока.
3. Принцип действия трансформатора тока.
4. Схема замещения трансформатора тока и векторная диаграмма.
5. Погрешности в работе измерительного трансформатора тока.
6. Основные параметры и характеристики ТТ.

Литература

- Федосеев А.М. «Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей» - М. Энергоатомиздат – 1984г.
- Андреев В.А. «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения» - М. Высшая школа, 1991г.
- Беркович М.А. и др. «Основы техники релейной защиты» - М. Энергоатомиздат, - 1984г.
- Чернобровов Н.В., Семёнов В.А. «Релейная защита энергетических систем» -М. Энергоатомиздат, - 1998г.
- Афанасьев В.В. «Трансформатора тока» -Л. Энергия, - 1980г.
- Казанский В.Е. «Трансформаторы тока в системах релейной защиты», - М. Энергия -1978г.

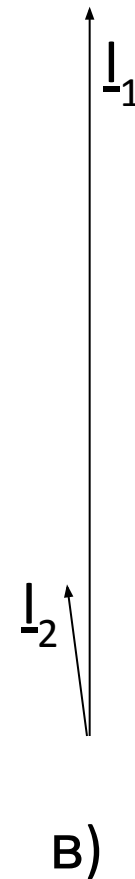
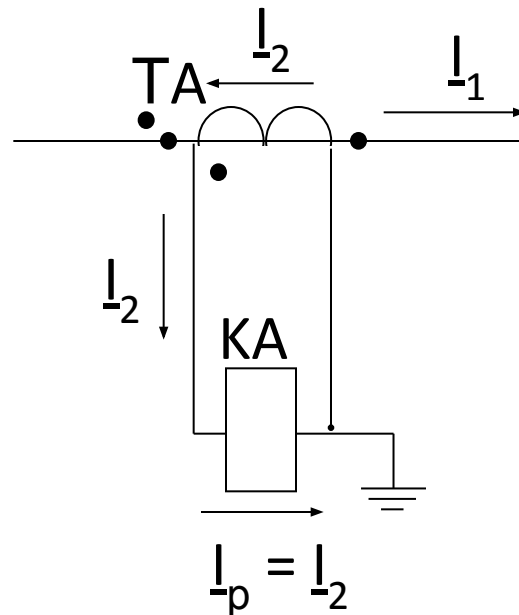
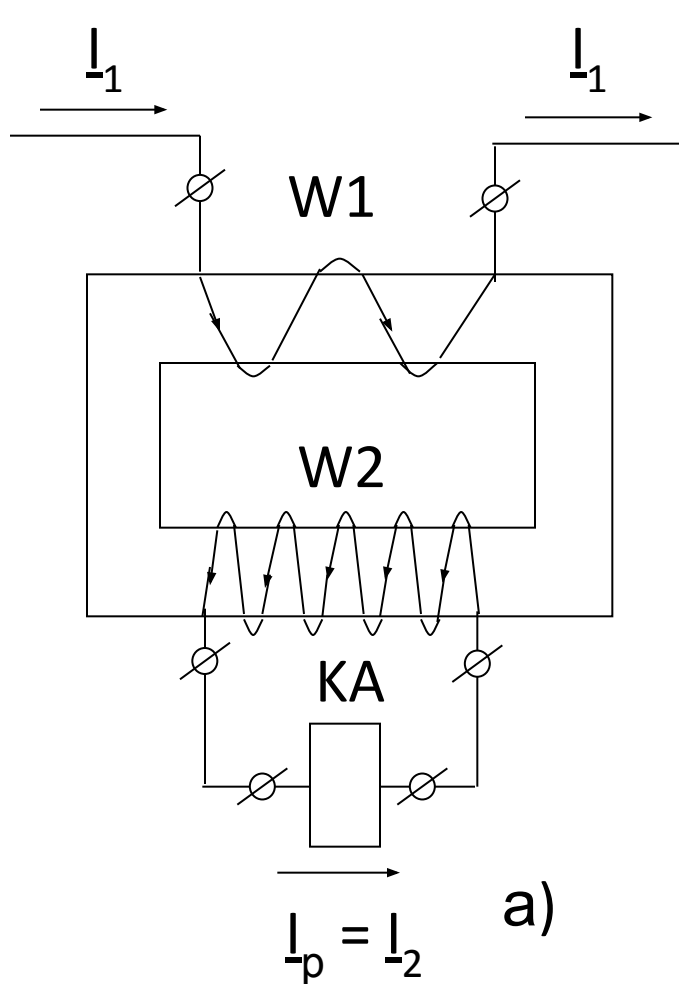
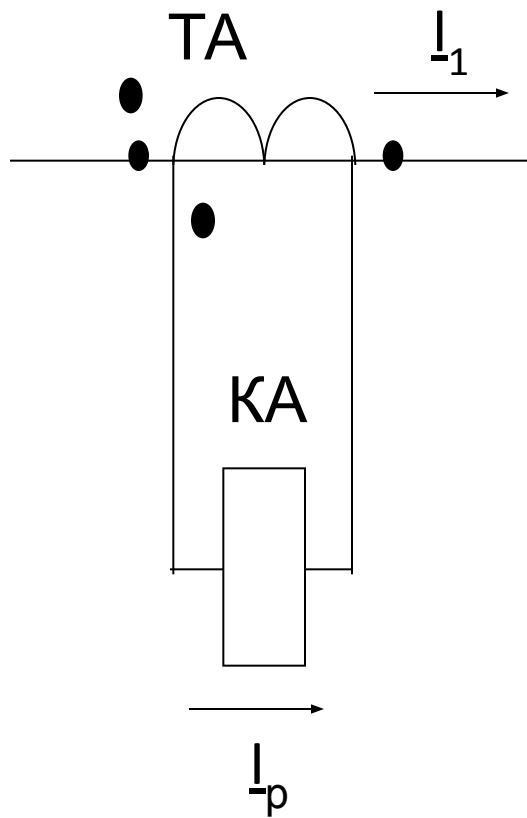


Рисунок 1.1 Схема включения ТТ, его условное обозначение на схемах и упрощённая векторная диаграмма токов (первичного и вторичного)

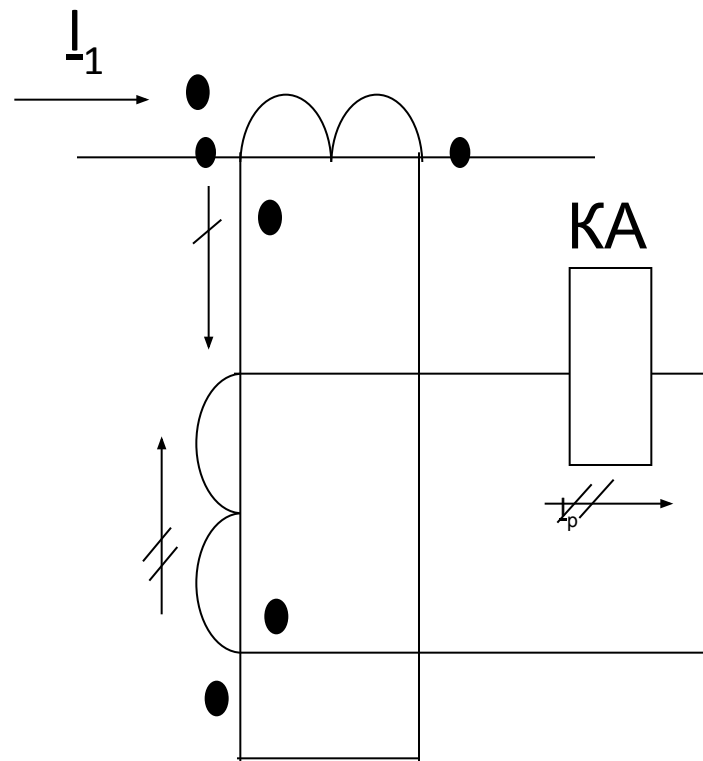
1) преобразование переменного тока в защищаемом элементе любого значения (тысячи и десятки тысяч ампер) в переменный ток, приемлемый по величине для функционирования устройств РЗ;

2) изолирование реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепей с высоким классом напряжения.



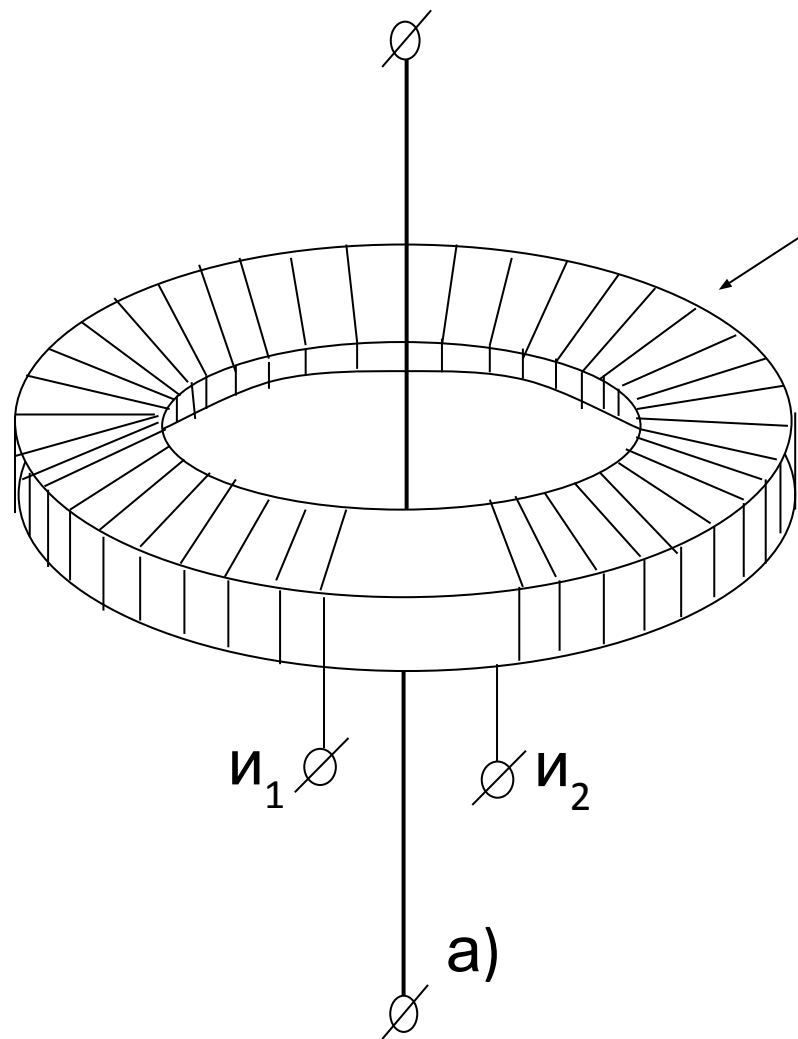
а)

- ТТ
одноступенчатые

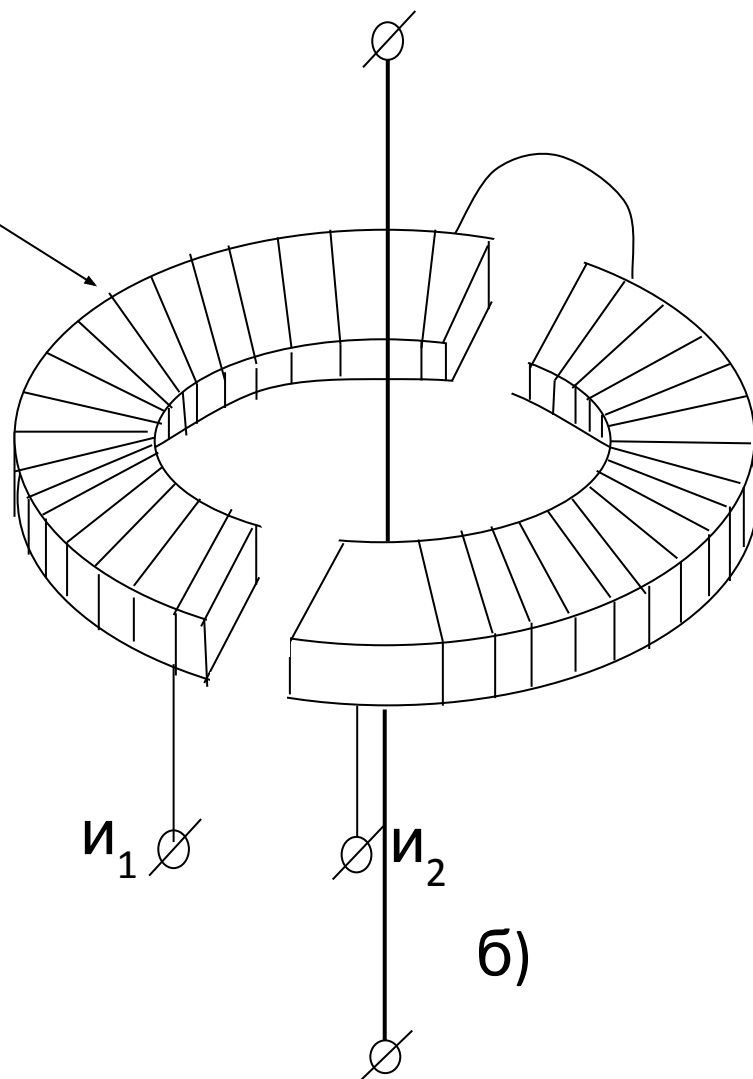


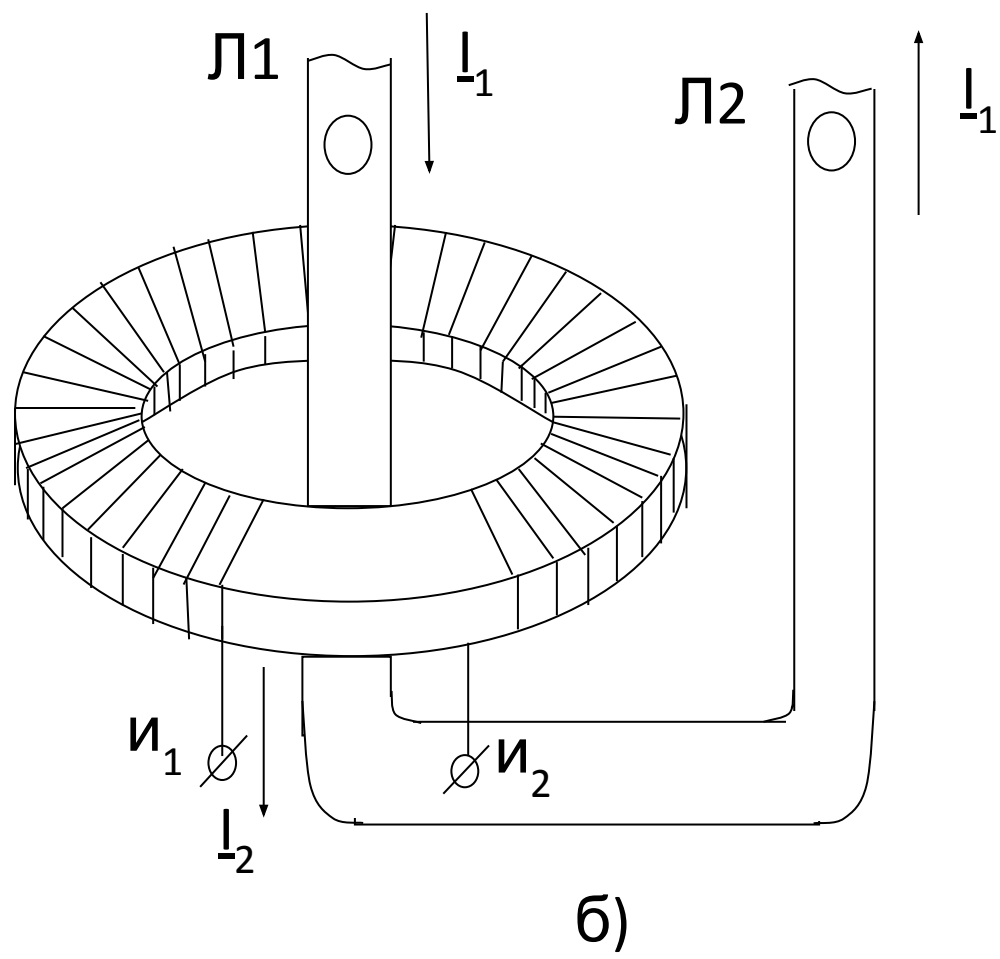
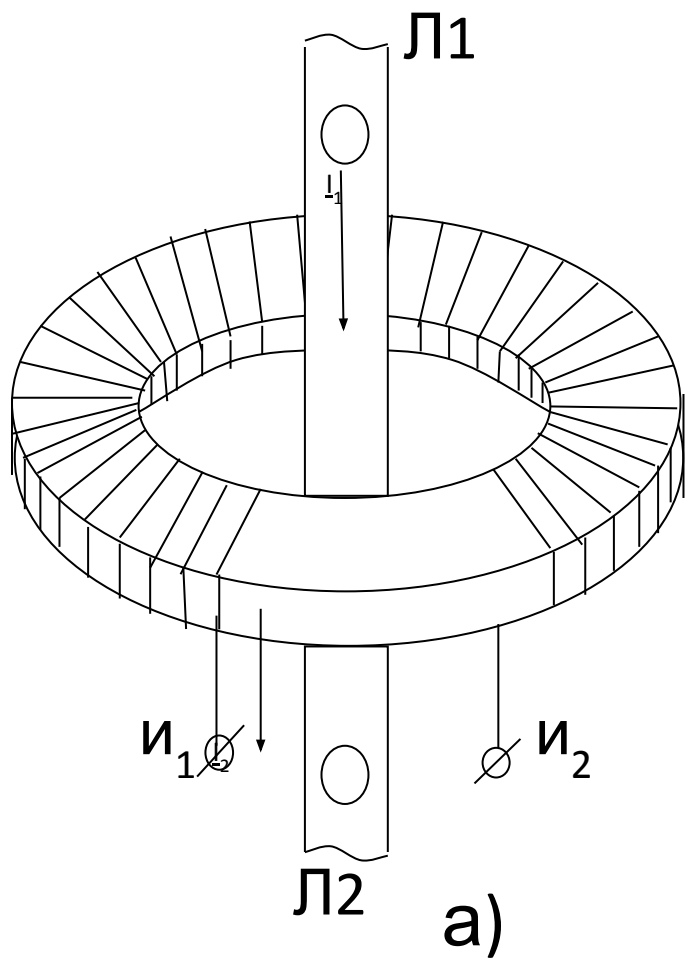
б)

- ТТ
многоступенчатые



W2





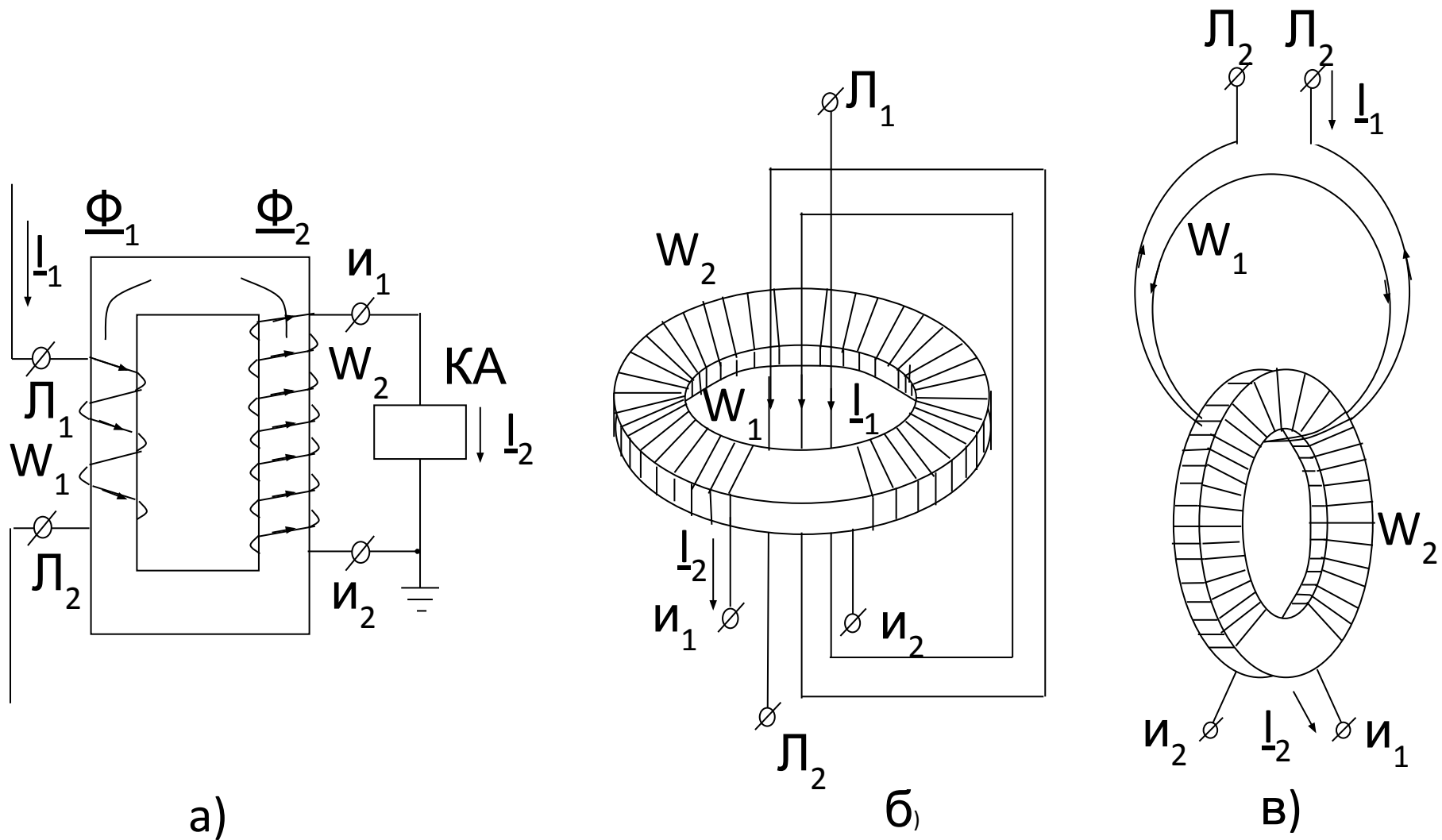


Рисунок 1.5 Многовитковые трансформаторы тока: а) с катушечной первичной обмоткой; б) с петлевой первичной обмоткой; в) со звеньевой первичной обмоткой

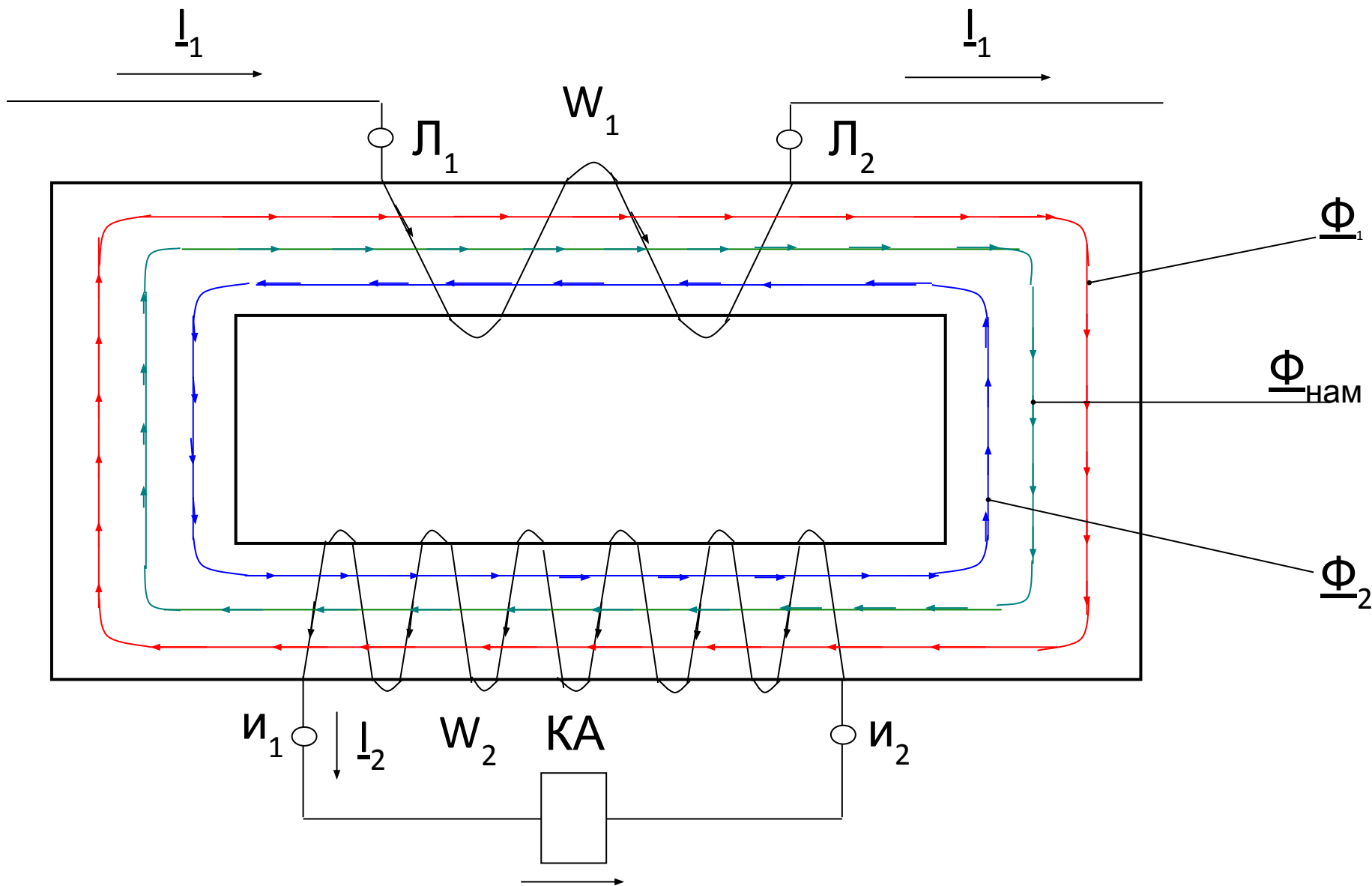
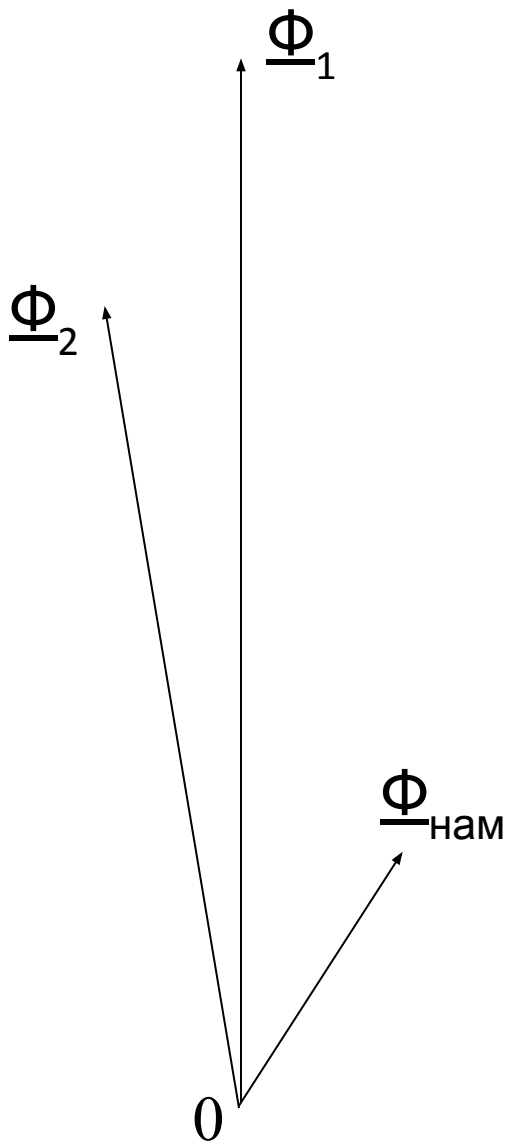


Рисунок 1.6 Общее устройство ТТ и его включение в первичную цепь



$$\underline{\Phi}_1 = \frac{\underline{I}_1 \cdot W_1}{R_{\mu}} \quad (1.1)$$

$$\underline{\Phi}_{\text{нам}} = \underline{\Phi}_1 - \underline{\Phi}_2 \quad (1.2)$$

$$\underline{\Phi}_1 = \underline{\Phi}_2 + \underline{\Phi}_{\text{нам}} \text{ или через МДС}$$

$$\underline{E}_1 = \underline{E}_2 + \underline{E}_{\text{нам}} \text{ или} \quad (1.3)$$

$$\underline{I}_1 \cdot W_1 = \underline{I}_2 \cdot W_2 + \underline{I}_{\text{нам}} \cdot W_1, \quad (1.4)$$

$$\underline{I}_1 \cdot \frac{W_1}{W_2} = \underline{I}_2 + \underline{I}_{\text{нам}} \cdot \frac{W_1}{W_2} \quad (1.5)$$

K_B – витковый коэффициент
трансформации ТТ

K_1 – номинальный
коэффициент трансформации
ТТ

$$K_I = \frac{I_{1\text{HOM}}}{I_{2\text{HOM}}} \quad (1.7)$$

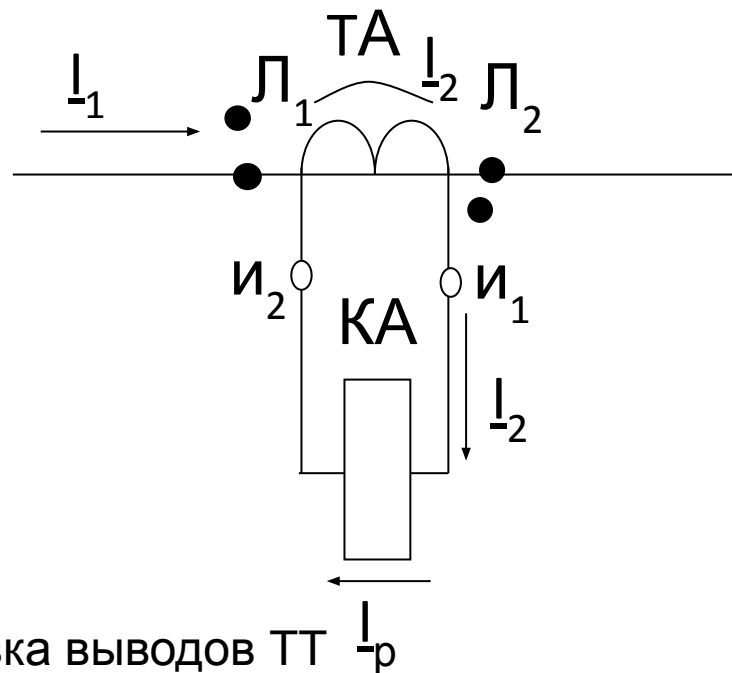


Рисунок 1.7 Маркировка выводов ТТ

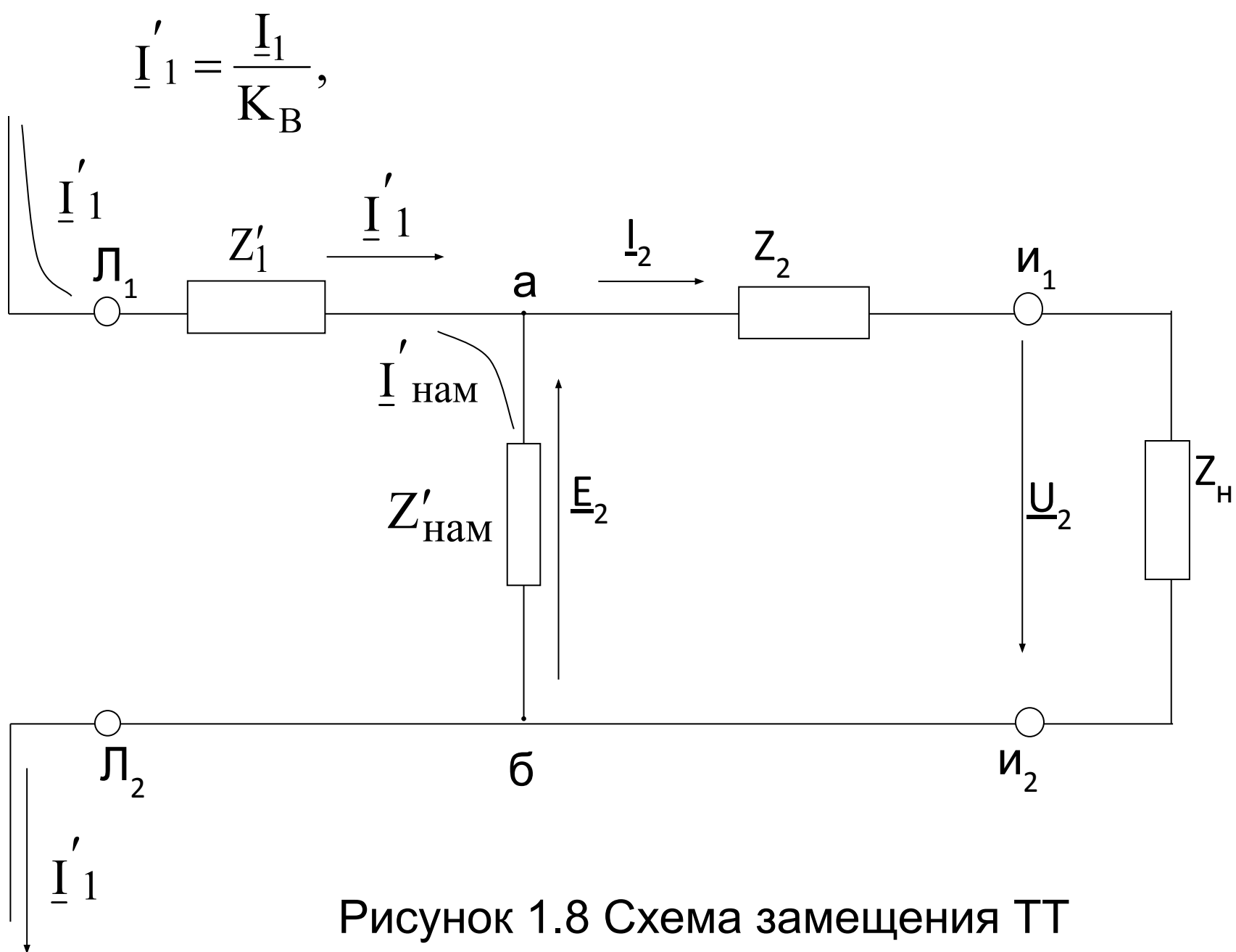


Рисунок 1.8 Схема замещения ТТ



(ппд)

$$\perp_2$$

$$I_2 \cdot R_H$$

$$I_2 \cdot jX_H$$

$$\underline{U}_2$$

$$\underline{I}_2 \cdot R_2$$

$$I_2 \cdot jX_2$$

$$\underline{E}_2, \angle \alpha$$

$$\angle 90^\circ, \frac{\Phi}{\dots}_{\text{нам}}$$

$\angle\gamma, \underline{\mathbf{I}}_{\text{нам}}$

$$\underline{I}'_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}'_{\text{HAM}}$$

ТОЧКИ А, В, С

$$\frac{\Delta I}{\angle \delta}$$

0 Рисунок 1.9 Векторная диаграмма ТТ

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot (\underline{R}_H + jX_H) \quad (1.8)$$

$$\underline{E}_2 = \underline{U}_2 + \underline{I}_2 \cdot (\underline{R}_2 + jX_2) \quad (1.9)$$

$$E_2 = I_2 \cdot \sqrt{(\underline{R}_2 + \underline{R}_H)^2 + (X_2 + X_H)^2} \quad (1.10)$$

$$E_2 = 4,44f \cdot W_2 \cdot \Phi_{\text{нам, max}} \quad (1.11)$$

$$\underline{F}_{\text{нам}} = \underline{I}_{\text{нам}} \cdot W_1 \quad (1.12)$$

$$\underline{F}_{\text{нам}} = \underline{I}'_{\text{нам}} \cdot W_2, \quad (1.13)$$

$$\underline{I}'_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}'_{\text{нам}}$$

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}'_{\text{нам}}}{\underline{I}'_1} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{\underline{I}_{\text{нам}}}{\underline{I}_1} \cdot 100\% \quad \text{или}$$

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_{\text{нам}}}{\underline{I}_1}$$

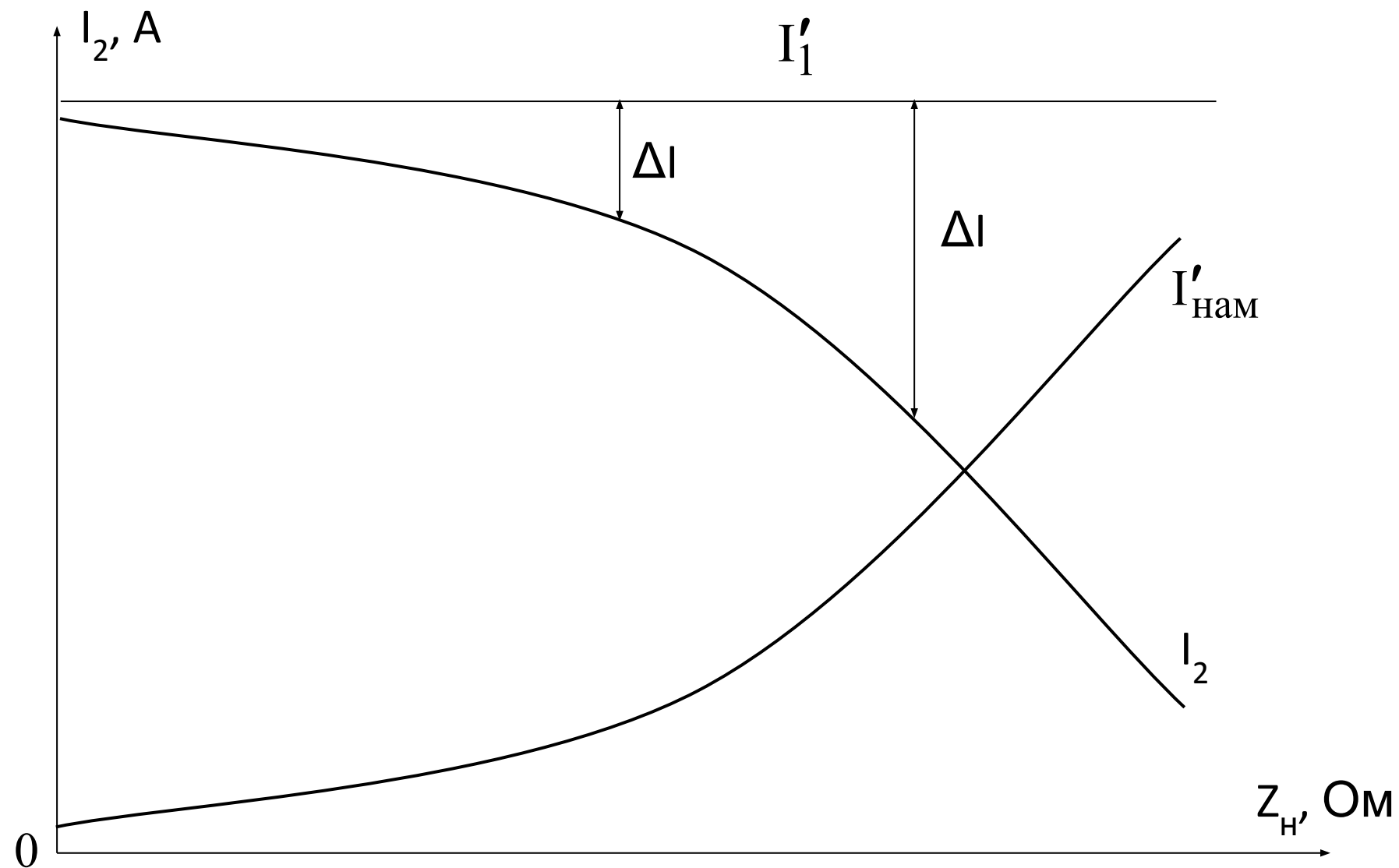


Рисунок 1.10 Характер изменения вторичного тока и тока намагничивания в схеме замещения ТТ в зависимости от величины сопротивления нагрузки

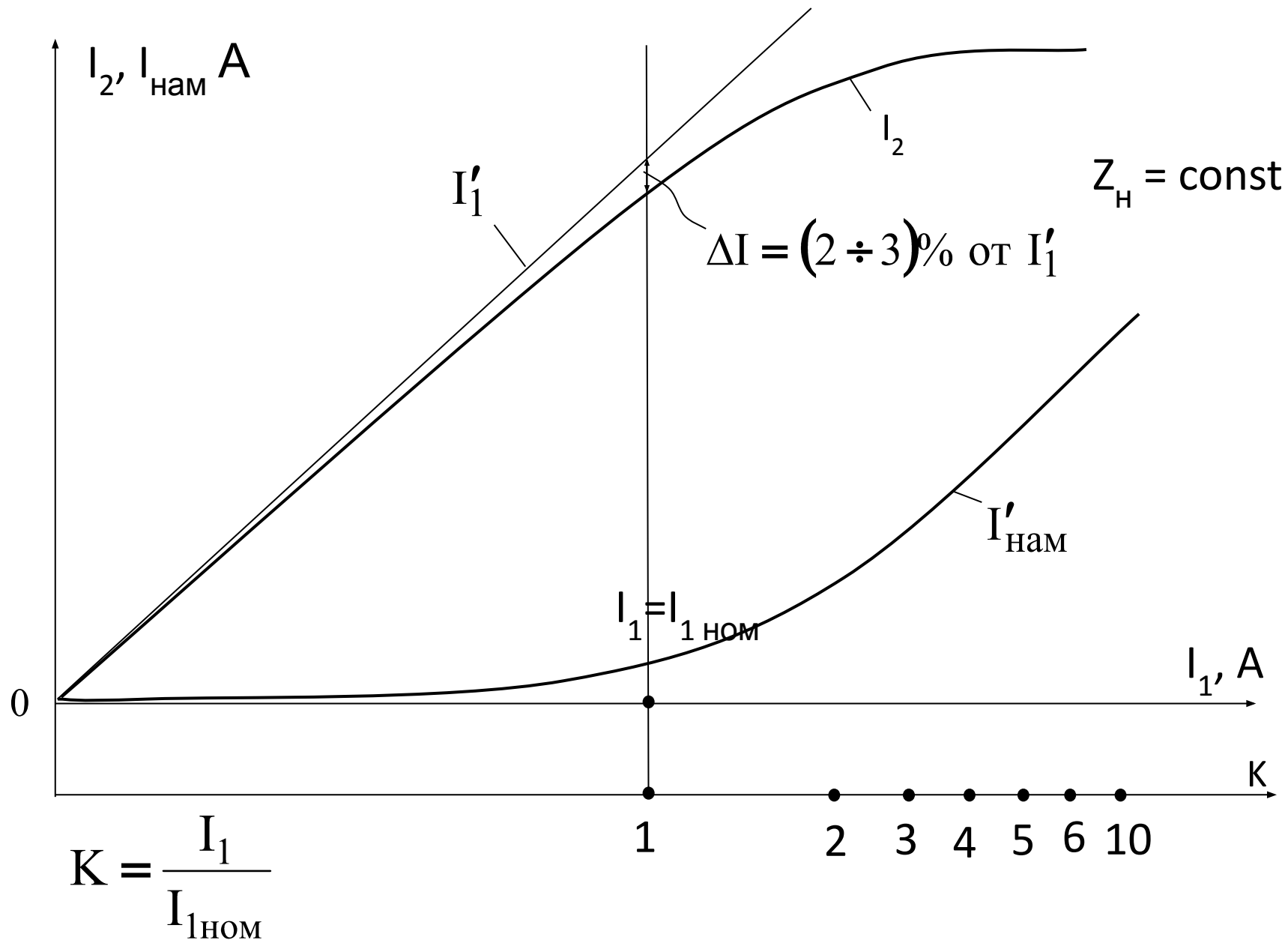


Рисунок 1.11 Зависимость вторичного тока и тока намагничивания от кратности первичного тока

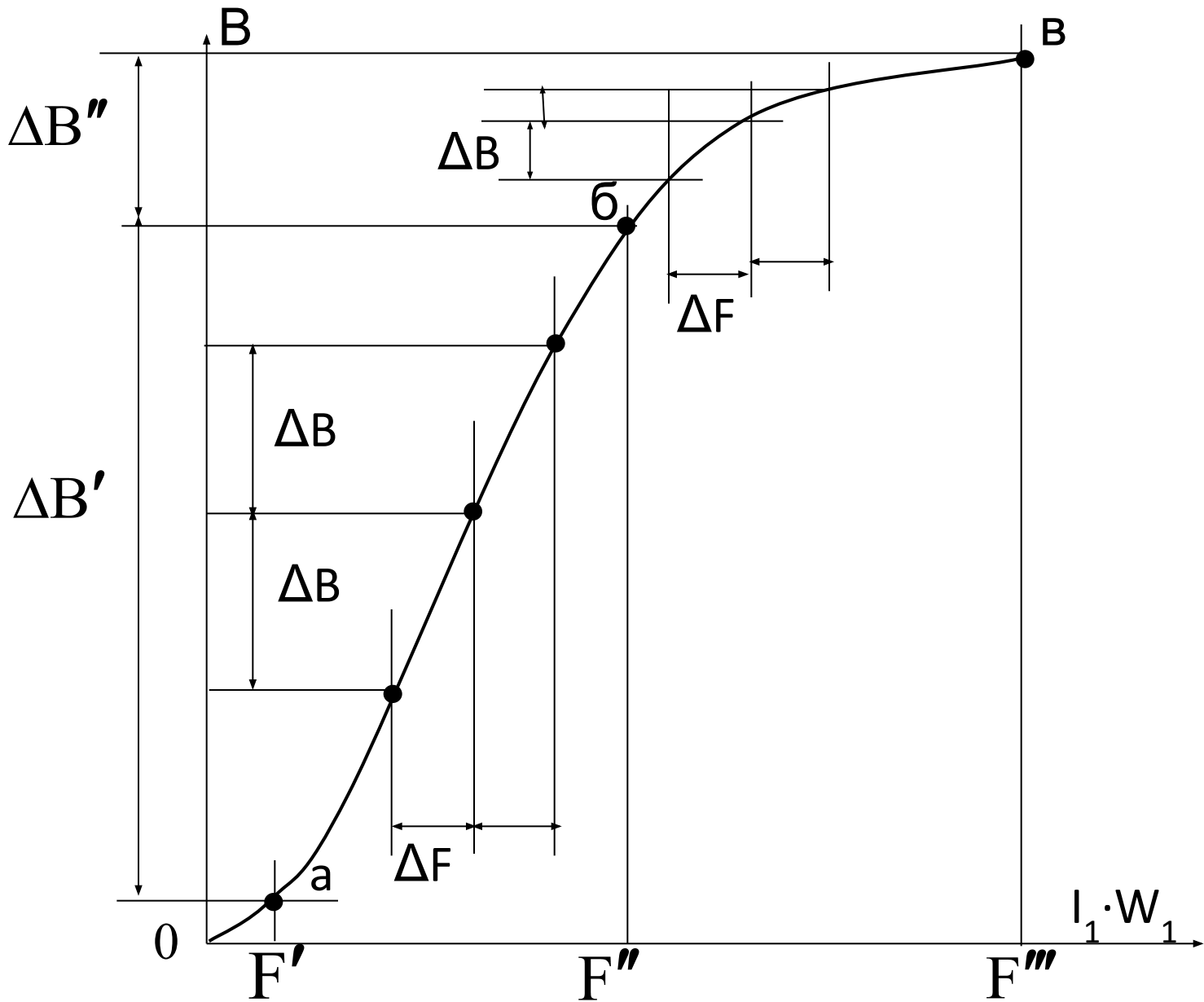


Рисунок 1.12 Характеристика намагничивания сердечника ТТ

$$\Delta I = I_1' - I_2 \quad (1.14)$$

$$\sin \delta = \frac{BC}{CO} = \frac{I_{\text{нам}}' \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{I_1'}, \quad (1.15)$$

$$\delta = \arcsin \frac{I_{\text{нам}}' \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{I_1'} \quad (1.16)$$

$$\varepsilon = \frac{\left| \underline{I}_{\text{нам}}' \right|}{\left| \underline{I}_1' \right|} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{\left| \underline{I}_{\text{нам}}' \right|}{\left| \underline{I}_1' \right|} \cdot 100\% \quad (1.17)$$

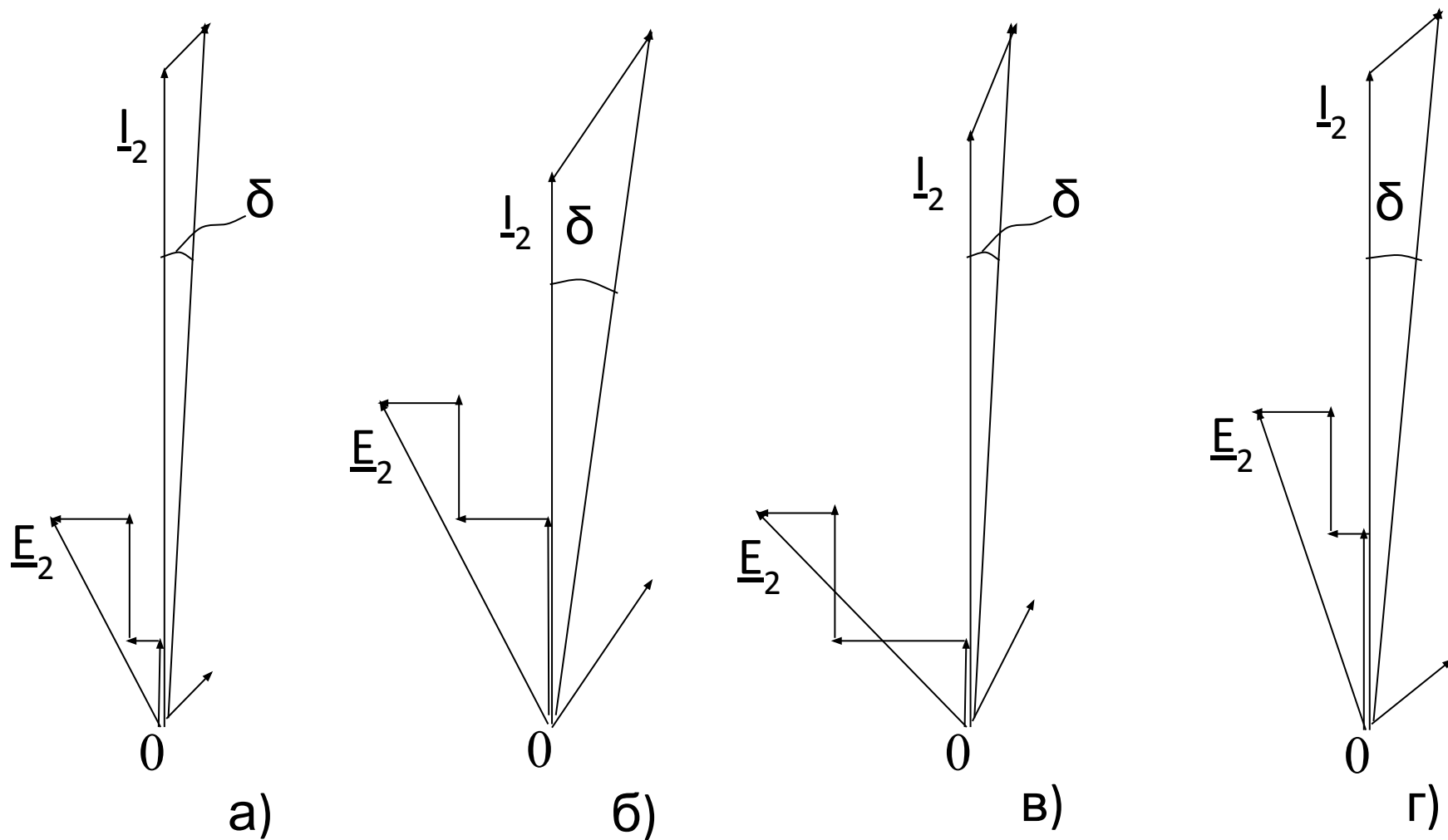


Рисунок 1.13, поясняющий зависимость угловой погрешности ТТ от величины Z_H (рисунок а) и б) и от характера полного сопротивления Z_H (рисунок в) - $X_H > R_H$; рисунок г) - $R_H > X_H$

1. Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$
0,66; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 220; 330; 500; 750; 1150 кВ.

2. Номинальный первичный ток $I_{1 \text{ ном}}$
1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 250; 300; 400;
500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 2000; 3000; 4000; 6000; 8000;
10000; 12000; 14000; 16000; 18000; 20000; 25000; 28000;
32000; 35500; 40000.

Трансформаторы тока с $I_{1 \text{ ном}}$ 15; 75; 150; 600; 1200; 3000 и 6000 могут допускать несколько большие токи неограниченно длительное время, а именно: 16; 80; 160; 650; 1300; 3300; 6500 А.

3. Номинальный вторичный ток $I_{2 \text{ ном}}$

4. Коэффициент трансформации ТТ

Витковый коэффициент трансформации $K_{\text{в}} = \frac{W_2}{W_1}$

Действительный коэффициент трансформации ТТ

$$K_{\text{д}} = \frac{I_1}{I_2}$$

Номинальный коэффициент трансформации ТТ $K_I = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}$

5. Стойкость ТТ к механическим и тепловым воздействиям

$$K_{дин} = \frac{I_{дин}}{1,41 \cdot I_{1\text{ном}}}$$

$$K_T = \frac{I_T}{I_{1\text{ном}}}$$

- а) для ТТ с $U_{1\text{ ном}} \geq 330 \text{ кВ}$ $I_{д} \geq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1Т};$
- б) для ТТ с $U_{1\text{ ном}} \geq 110 \text{ кВ}, 150 \text{ кВ}, 220 \text{ кВ}$ $I_{д} \geq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{3Т};$
- в) для ТТ с $U_{1\text{ ном}} \geq 35 \text{ кВ}$ $I_{д} \geq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{4Т}.$

6. Номинальная вторичная нагрузка ТТ $Z_{2н, ном}$

$$Z_{2н, ном} = \frac{S_{2н, ном}}{I_{2н, ном}^2}, \quad \text{где}$$

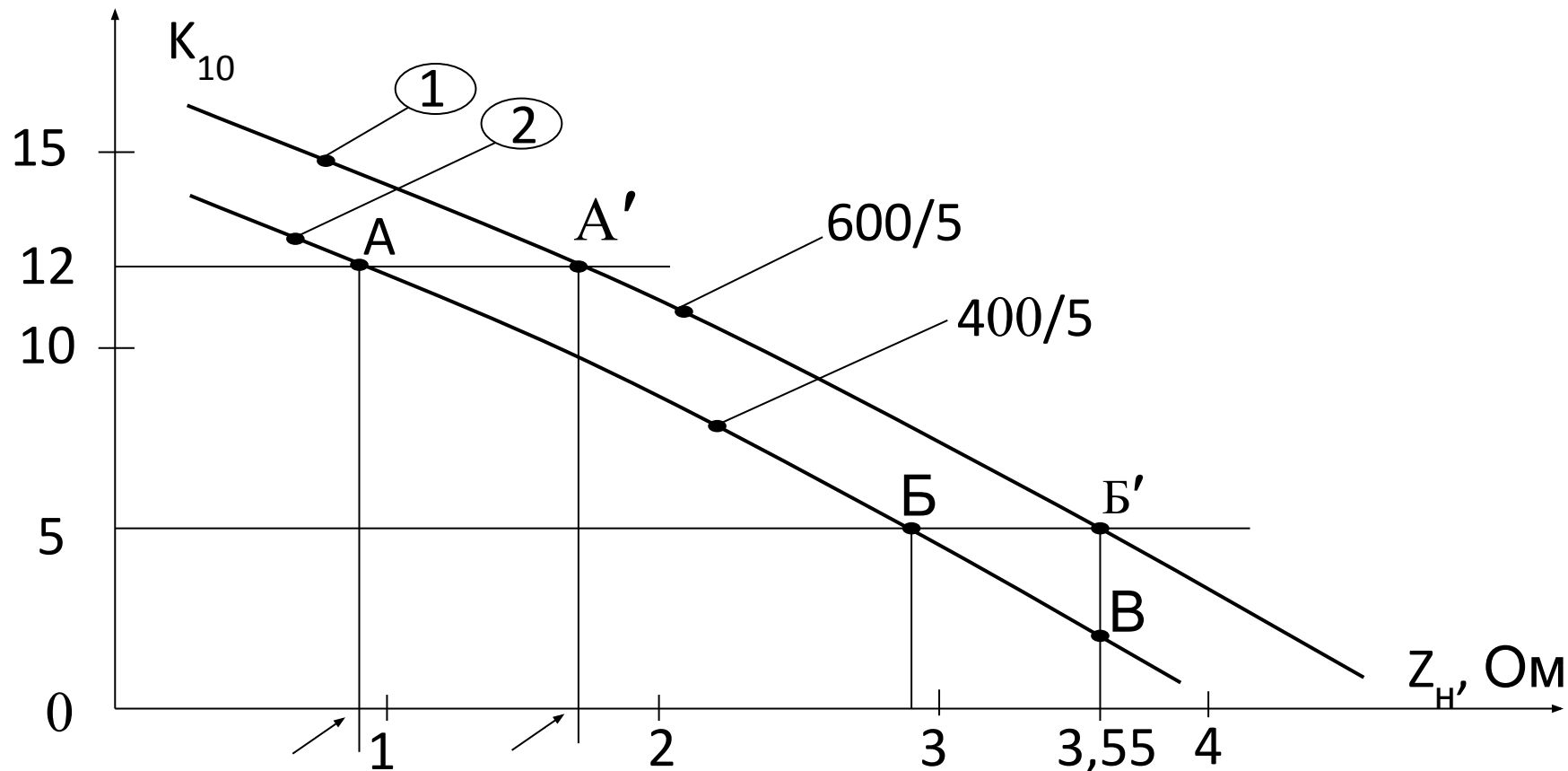
$S_{2н, ном}$ – номинальная вторичная нагрузка ТТ в В·А

$I_{2н, ном}$ – номинальный вторичный ток ТТ.

Для отечественных ТТ установлены следующие значения номинальной вторичной нагрузки $S_{2н, ном}$ при $\cos \varphi_2 = 0,8$:

2,5; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 100 В·А.

Требования , предъявляемые к точности работы измерительных трансформаторов тока



Классы точности ТТ 0,5; 1; 5Р; 10Р

Для РЗ изготавливаются ТТ классов :

10 Р с полной относительной погрешностью $\varepsilon \leq 10\%$

5 Р (повышенной точности) с $\varepsilon \leq 5\%$.