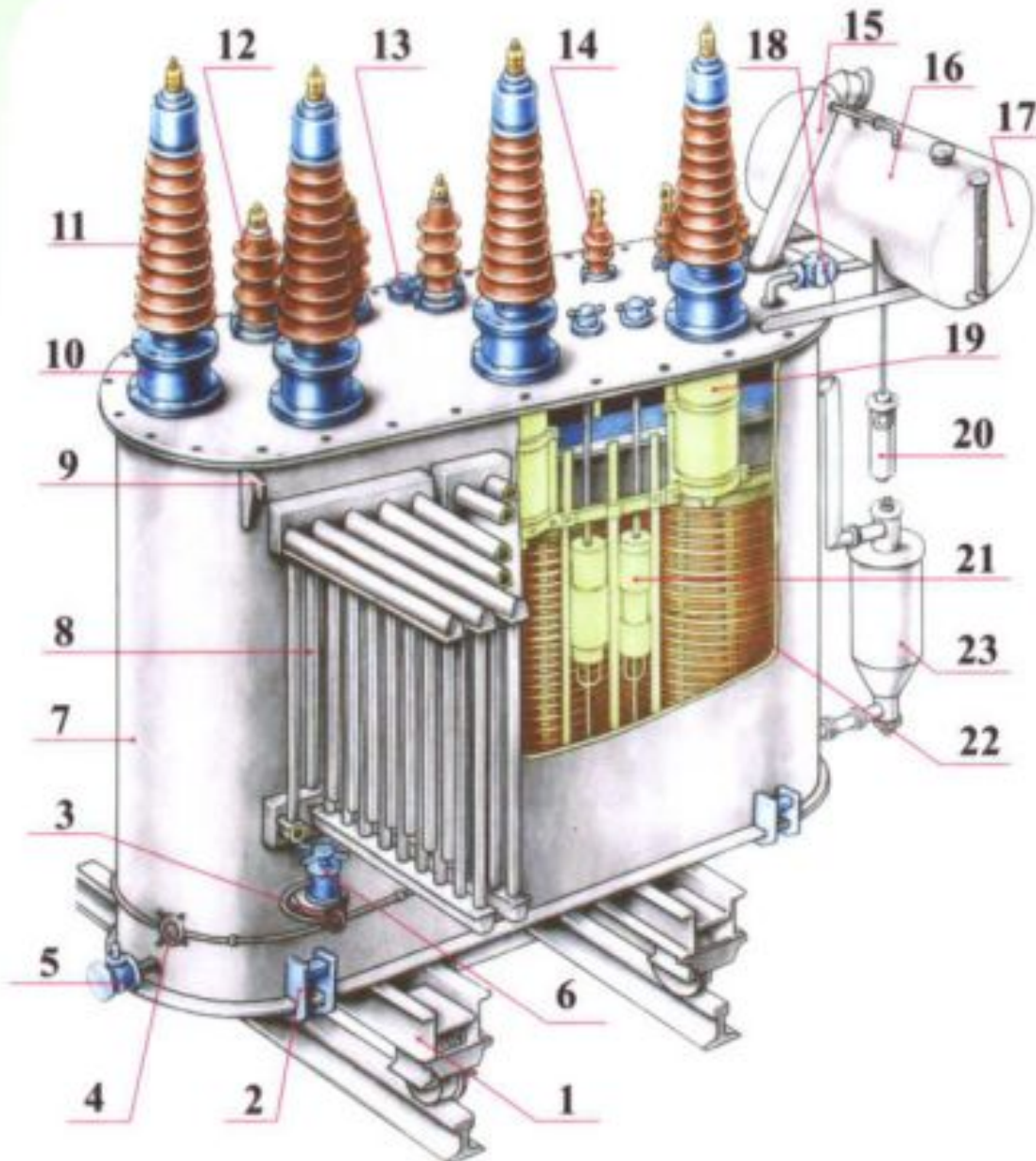


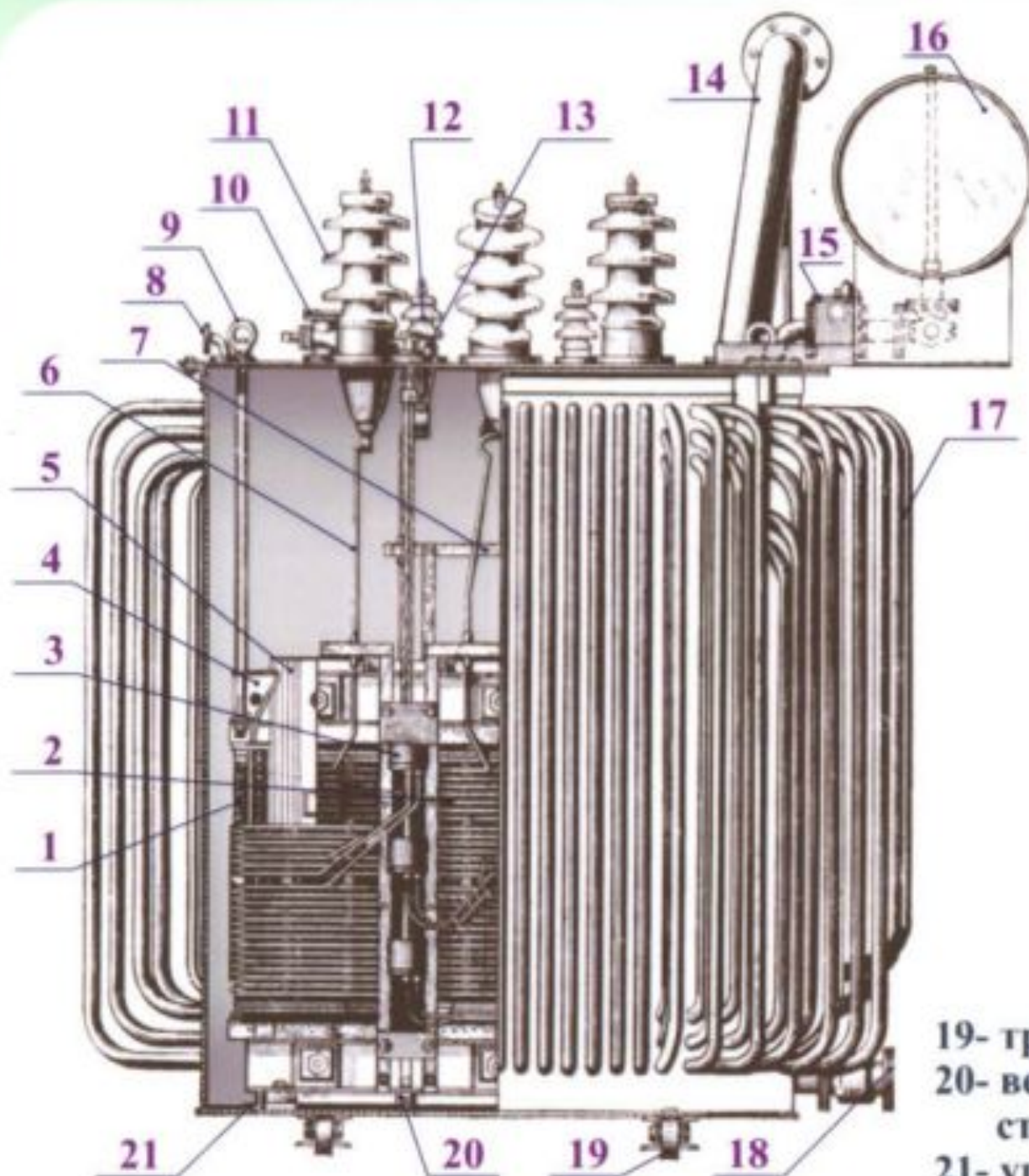
Основные типы трансформаторов

- Силовые:
 - однофазные $> 5 \text{ кВ} \cdot \text{А}$,
 - трёхфазные и многофазные $> 6,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}$
- Автотрансформаторы
- Измерительные трансформаторы тока и напряжения
- Специальные: печные, сварочные, импульсные

Трехфазный трехобмоточный трансформатор ТДТГ - 16000/110



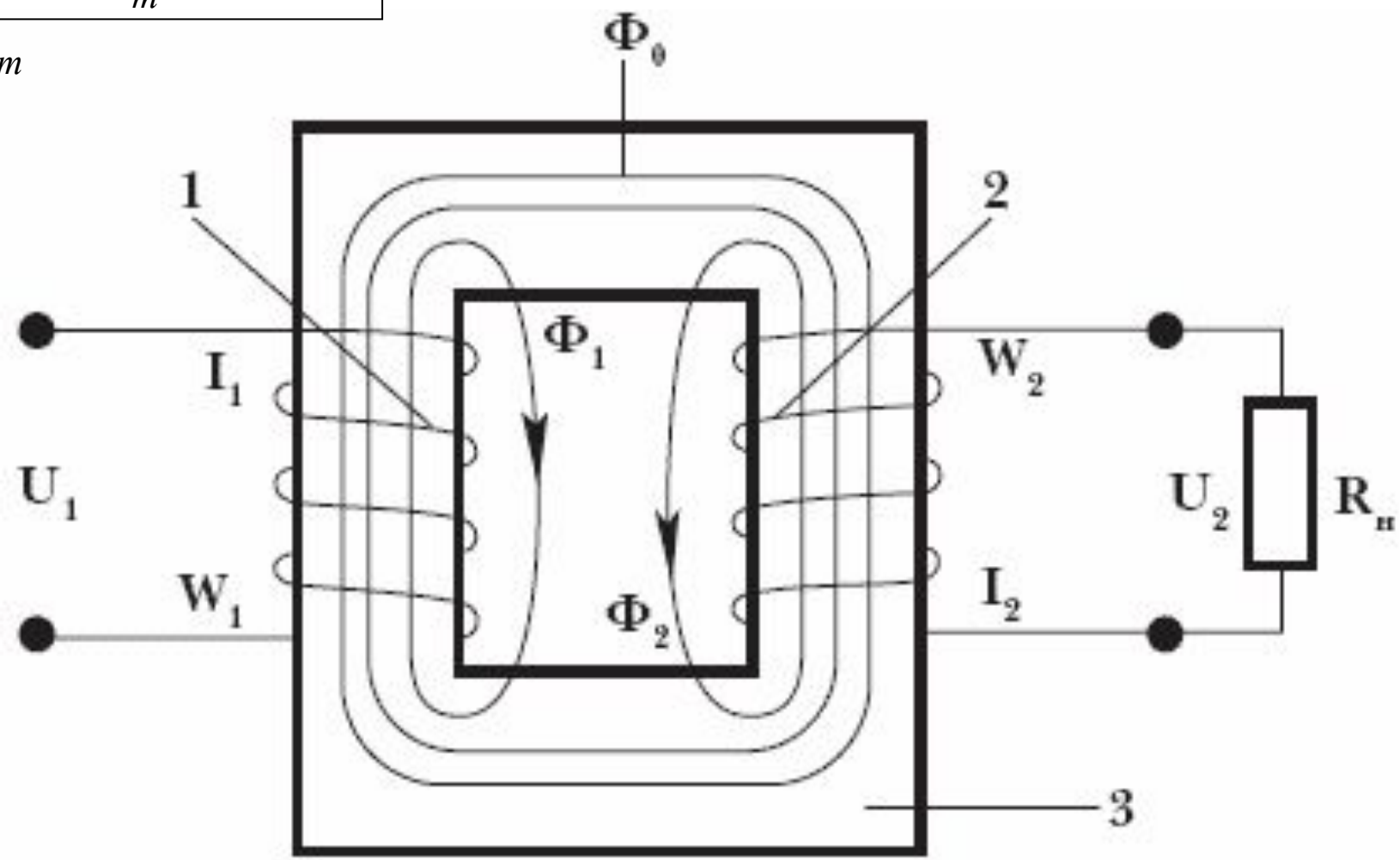
- 1- каретка однокатовая;
- 2- площадка для установки домкрата;
- 3- распределительная коробка;
- 4- кран для слива масла;
- 5- кран для слива масла;
- 6- электроventильатор;
- 7- бак трансформатора;
- 8- радиатор охлаждения;
- 9- крюк для подъема полностью собранного трансформатора;
- 10- переходный фланец (адаптер) с трансформаторами тока;
- 11- ввод ВН (110 кВ);
- 12- ввод СН (35 кВ);
- 13- привод переключающего устройства;
- 14- ввод НН (10 кВ);
- 15- предохранительная труба
- 16- расширитель;
- 17- маслоуказатель;
- 18- газовое реле;
- 19- бумажно-бакелитовый цилиндр ввода 110 кВ;
- 20- воздухоосушитель;
- 21- переключающее устройство ПБВ;
- 22- обмотка ВН
- 23- башмак



- 1- обмотка ВН;
- 2- обмотка НН;
- 3- переключатель регулировочных отводов обмотки ВН;
- 4- балка, прессующая ярмо;
- 5- шихтованный магнитопровод;
- 6- отводы ВН;
- 7- отводы НН;
- 8- патрубок для присоединения вакуумного насоса;
- 9- кольцо для подъёма выемной части;
- 10- кран для заливки масла;
- 11- ввод (изолятор) ВН;
- 12- ввод (изолятор) НН;
- 13- привод переключателя;
- 14- выхлопная труба;
- 15- газовое реле;
- 16- расширитель;
- 17- трубчатый бак;
- 18- кран для слива масла.

- 19- транспортный ролик;
- 20- вертикальная шпилька для стягивания прессующих балок ярма;
- 21- упорный угольник на дне бака.

$$\Phi = F/R_m = w \cdot i$$

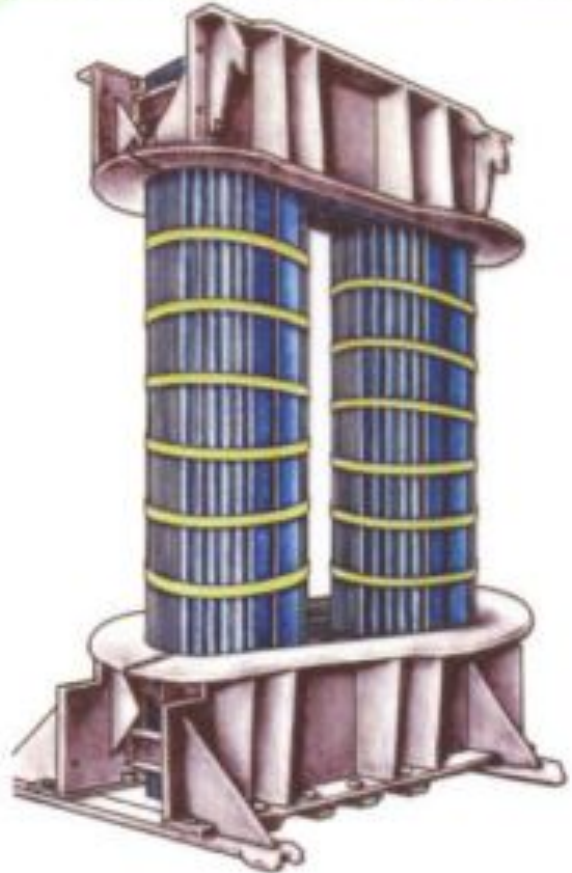


Схематичное изображение

ТРАНСФОРМАТОРЫ

ТИПЫ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

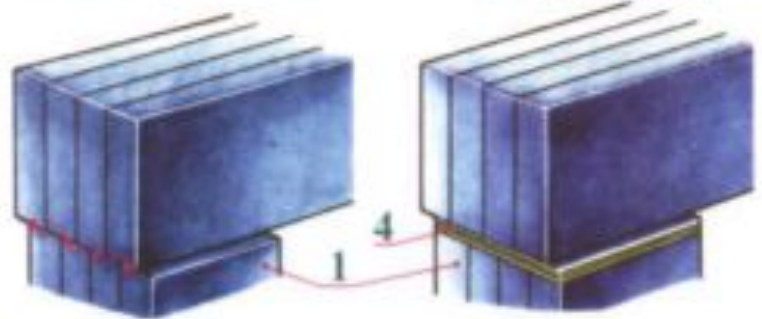
Шихтованный двухрамный магнитопровод однофазного трансформатора



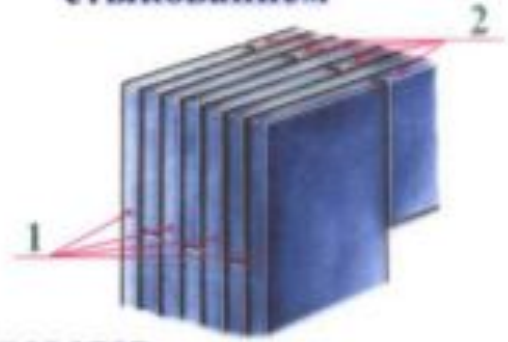
Стыковое соединение стержня и ярма

БЕЗ ПРОКЛАДКИ

С ИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПРОКЛАДКОЙ



Сборка (шихтовка) пластин впереплёт с прямым стыкованием



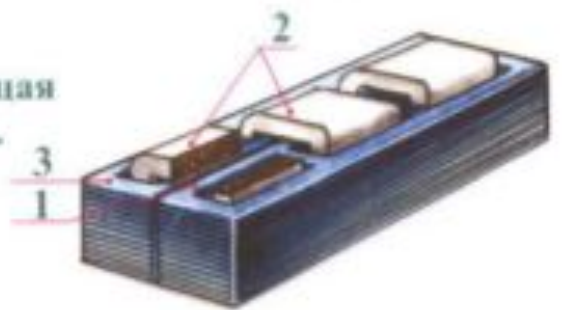
Основные типы конструкций магнитопроводов

СТЕРЖНЕВАЯ



- 1 - стержень;
- 2 - обмотка;
- 3 - ярмо;
- 4 - изолирующая прокладка.

БРОНЕВАЯ



Схемы шихтовки магнитопроводов

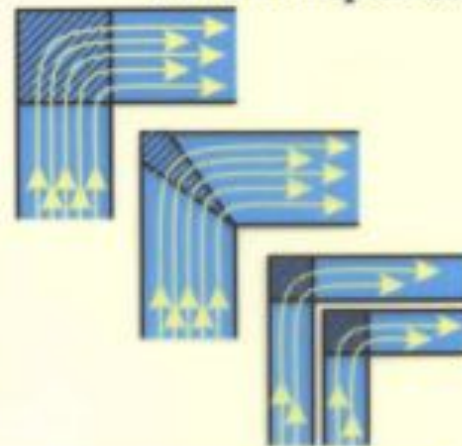
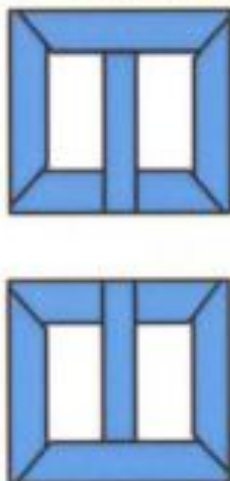
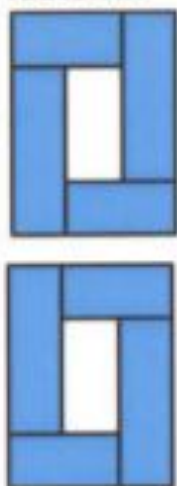
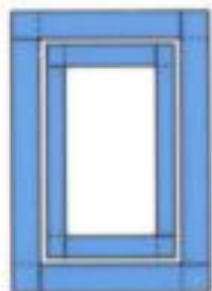
С ПРЯМЫМИ СТЫКАМИ ПЛАСТИН

С КОМБИНИРОВАННЫМИ СТЫКАМИ

С КОСЫМИ СТЫКАМИ

Направление магнитного потока в углах магнитопровода

Схема двухрамной магнитной системы



Пространственная навитная магнитная система



Пространственная стыковая магнитная система



Трёхфазная плоская магнитная система



Плоские навитные магнитные системы

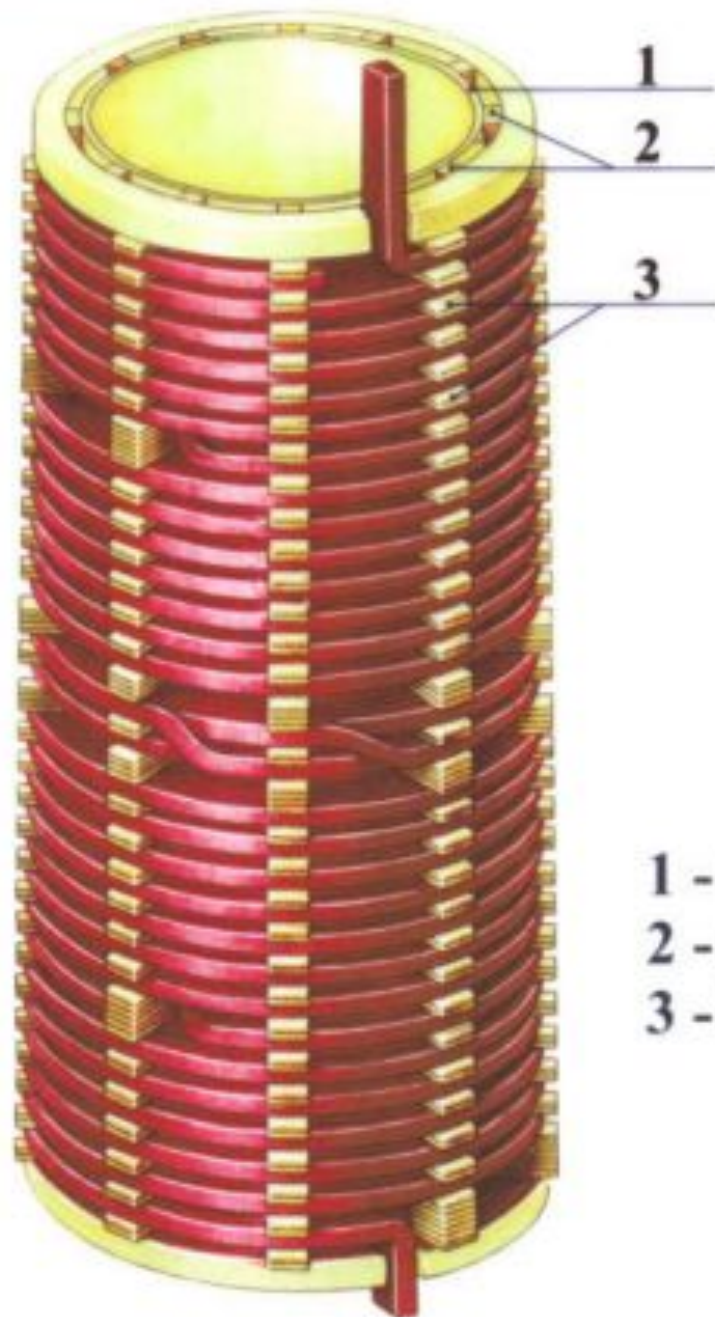
СТЕРЖНЕВАЯ

ТОРОИДАЛЬНАЯ

ТРЕХФАЗНАЯ



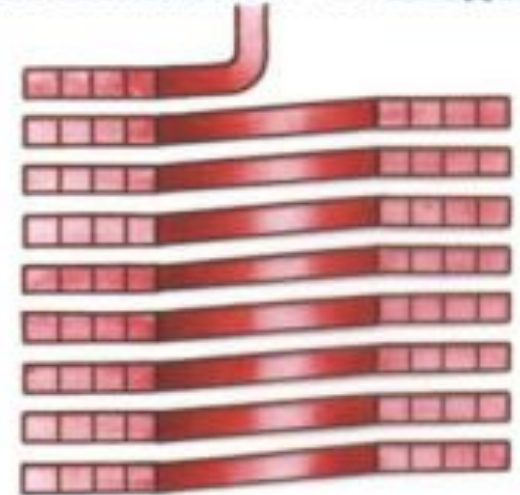
Одноходовая обмотка



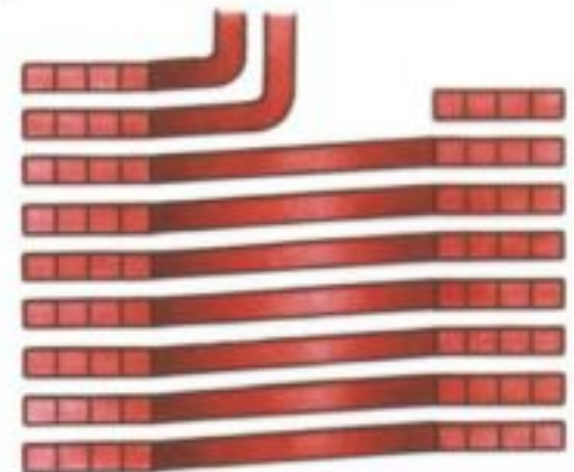
ОДНОХОДОВАЯ



ОДНОХОДОВАЯ ИЗ ЧЕТЫРЕХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

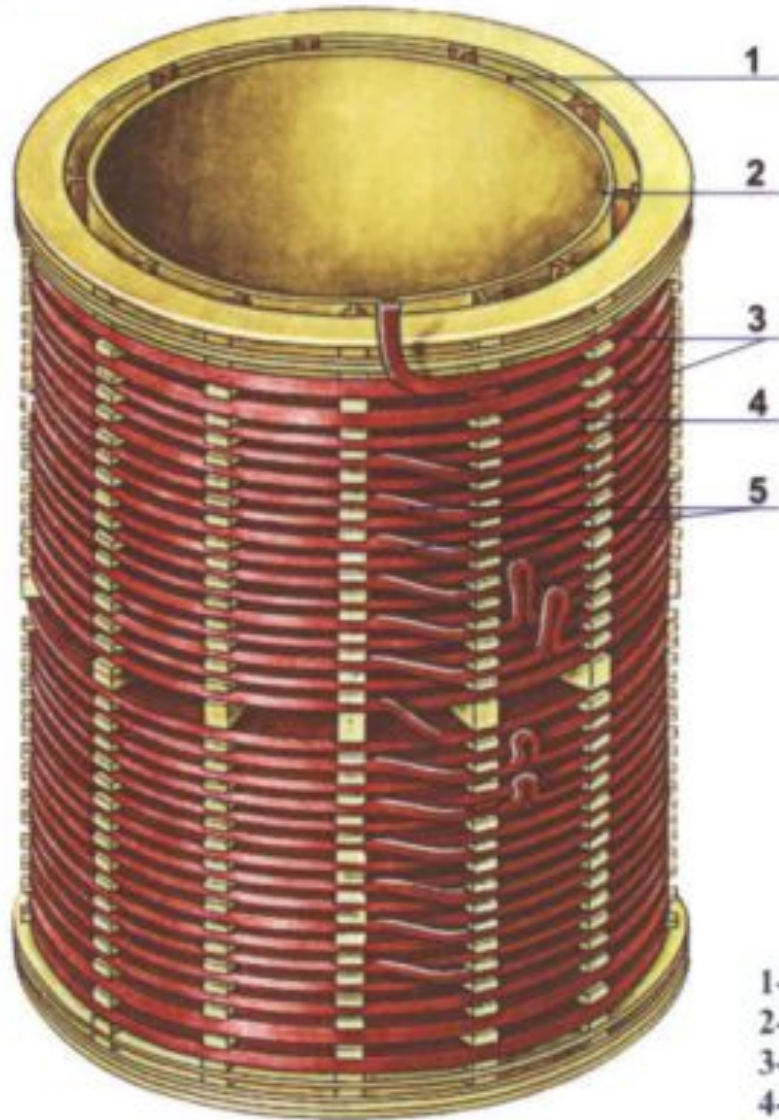


ДВУХХОДОВАЯ

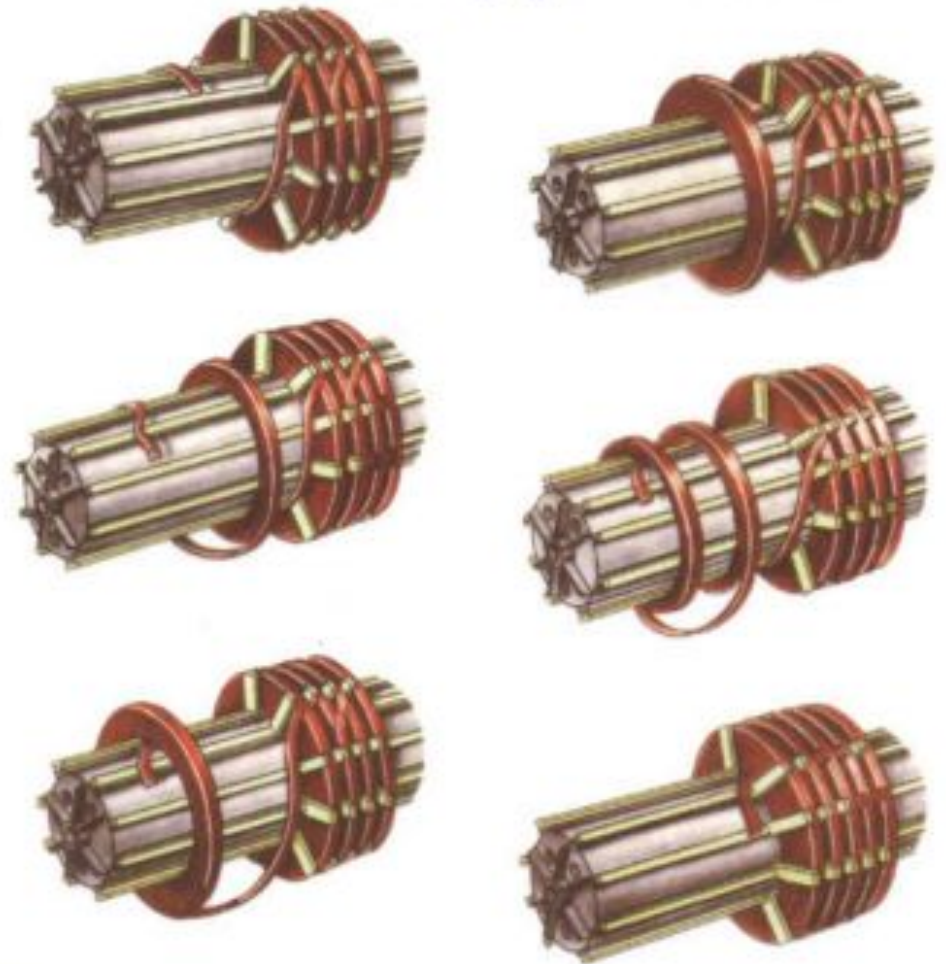


- 1 - цилиндр;
- 2 - рейки;
- 3 - прокладки.

Общий вид непрерывной катушечной обмотки

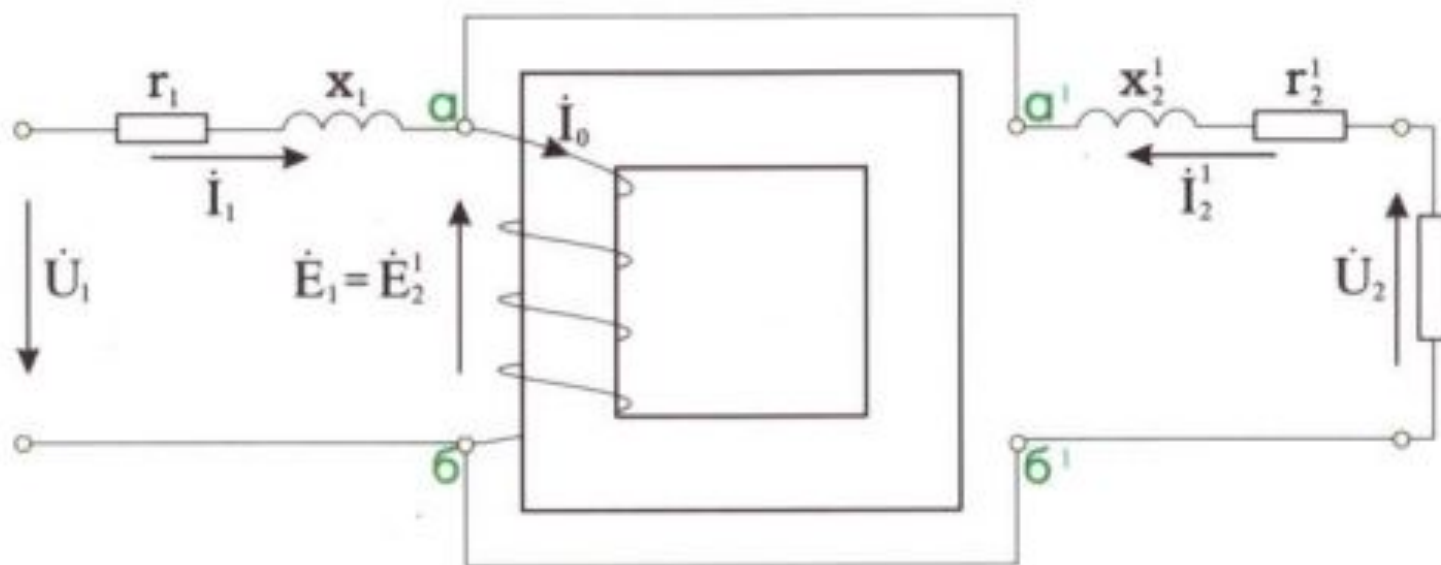
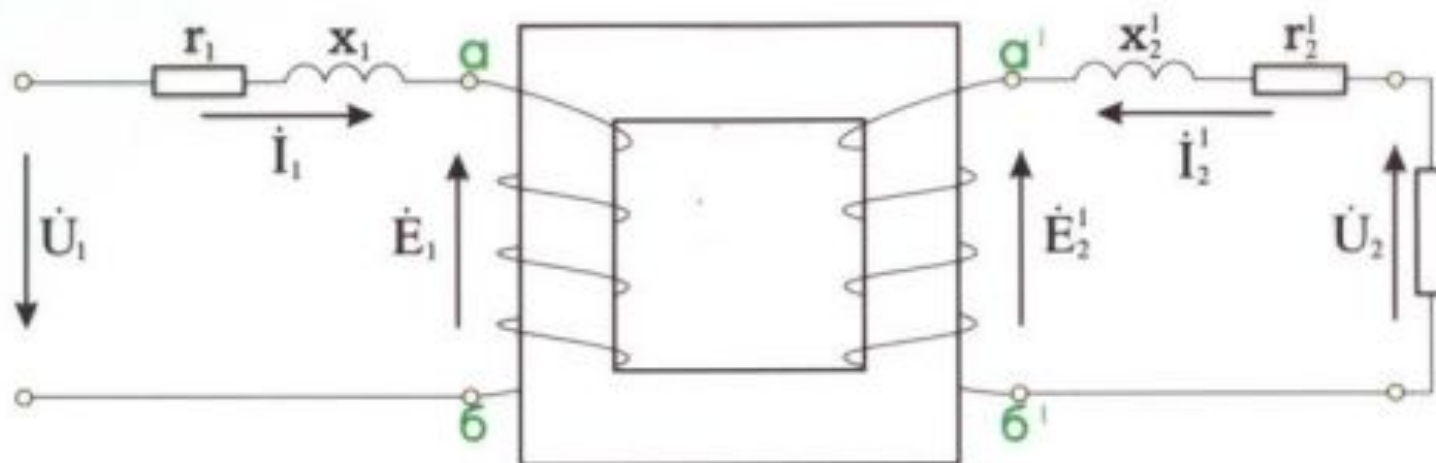


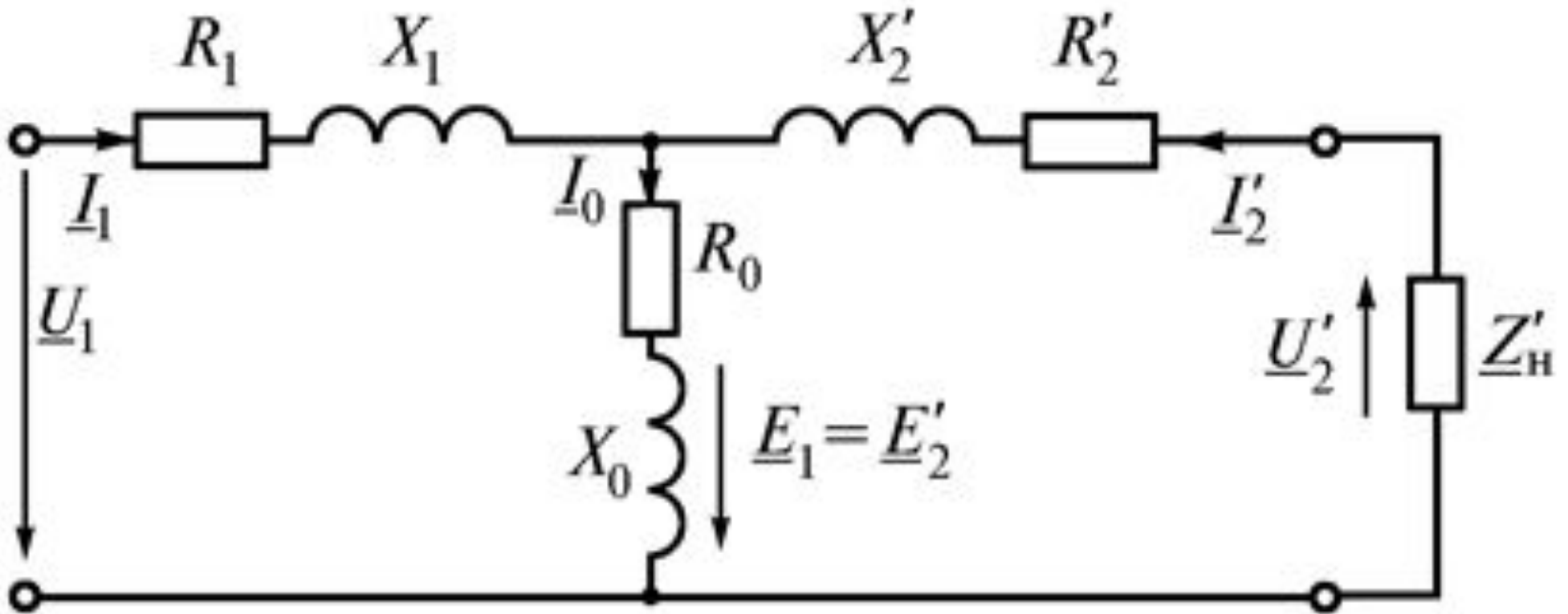
Намотка непрерывной обмотки



- 1- цилиндр;
- 2- внутренняя рейка;
- 3- обмоточный провод;
- 4- прокладки;
- 5- наружные переходы проводов;
- 6- коробка из электрокартона;
- 7- лента киперная.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА





$$I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_2 = F_0$$

$$I_1 + I_2 \cdot w_2 / w_1 = I_0$$

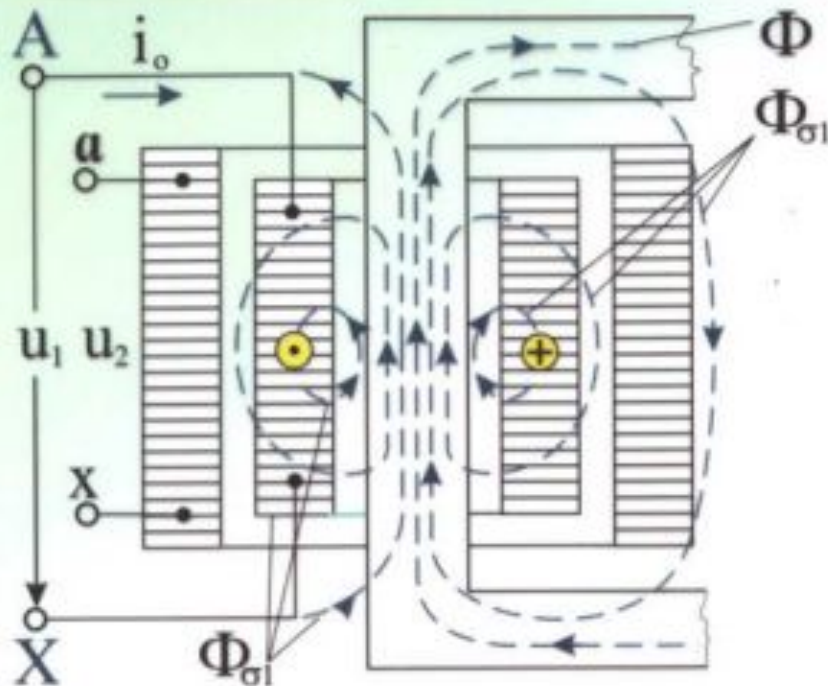
$$P_2 = (I_2)^2 \cdot R$$

$$P'_2 = (I'_2)^2 \cdot R'$$

$$R'_2 = (I_2)^2 \cdot R_2 / (I'_2)^2$$

$$R'_2 = R_2 \cdot (w_1 / w_2)^2$$

ХОЛОСТОЙ ХОД ТРАНСФОРМАТОРА



Картина потоков при холостом ходе

Мгновенное значение Э.Д.С.:

$$e = -d\Psi/dt = -W \cdot d\Phi/dt$$

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin(\omega t)$$

Действующее значение Э.Д.С.:

$$E = e/1,414$$

$$I_0 = \frac{E_1}{Z_m} \approx \frac{U_1}{Z_m}$$

$$Z_m \approx \frac{U_1}{I_0}$$

$$r_m = \frac{P_{\text{МГ}}}{I_0^2} \approx \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 + r_m^2}$$

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_{\max} \quad E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_{\max}$$

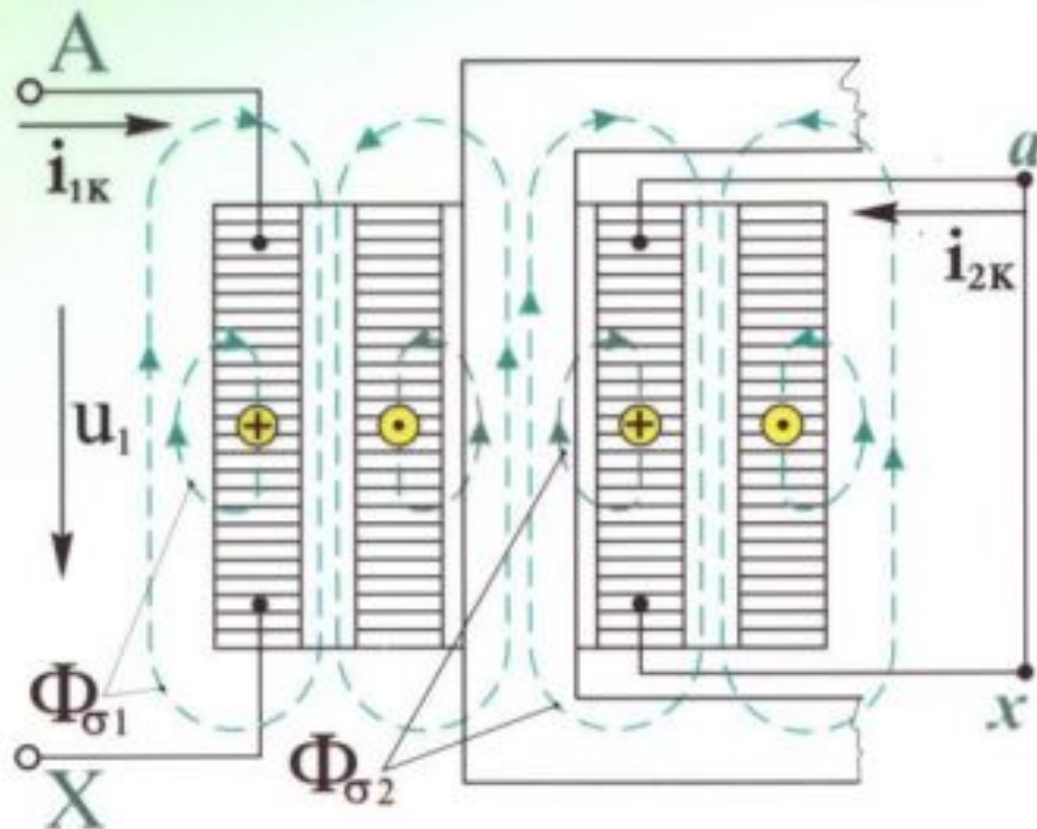
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U}{U_{20}}$$

Нормативная документация

- ГОСТ 16110-82 Трансформаторы силовые. Термины и определения
- ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия

ТРАНСФОРМАТОРЫ

РЕЖИМ УСТАНОВИВШЕГОСЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА



Картина потоков при коротком замыкании

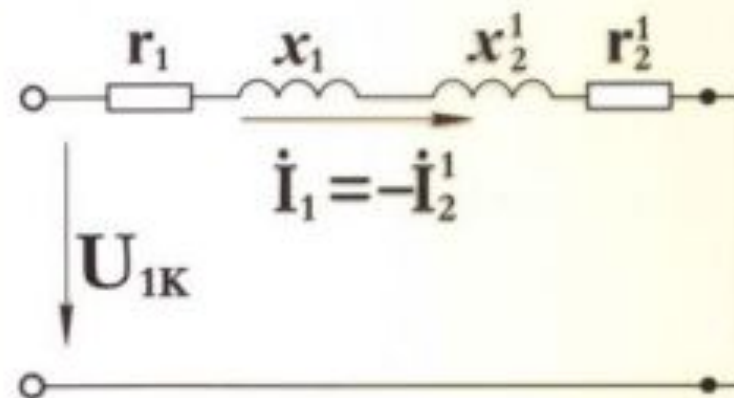
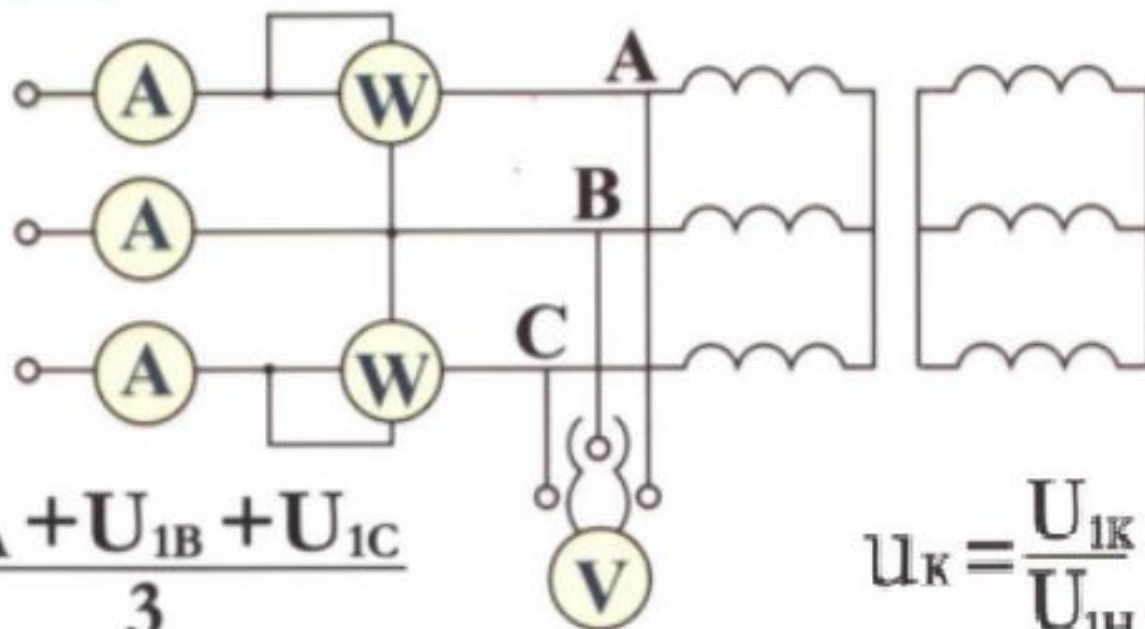


Схема замещения при коротком замыкании (КЗ)

РЕЖИМ УСТАНОВИВШЕГОСЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Потери и параметры кз



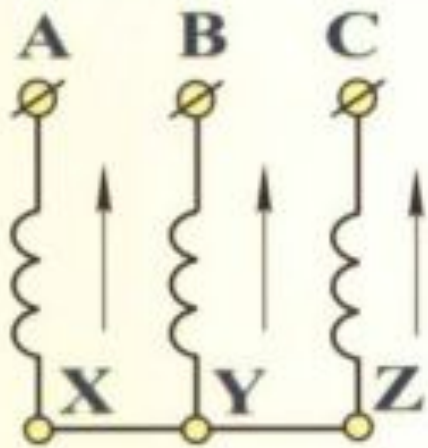
$$U_{1К} = \frac{U_{1A} + U_{1B} + U_{1C}}{3}$$

$$\zeta_K = \frac{U_{1К}}{U_{1Н}} 100\%$$

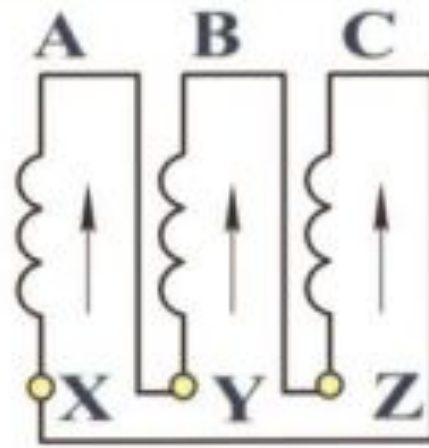
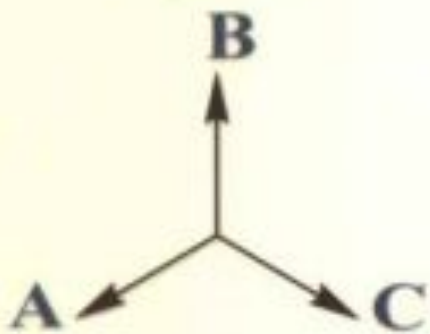
Схема опыта КЗ трёхфазного трансформатора

$$z_K = \frac{U_{1К}}{I_{1К}} ; \quad P_K \approx P_{Эл} ; \quad r_K = \frac{P_K}{I_{1К}^2} ; \quad x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}$$

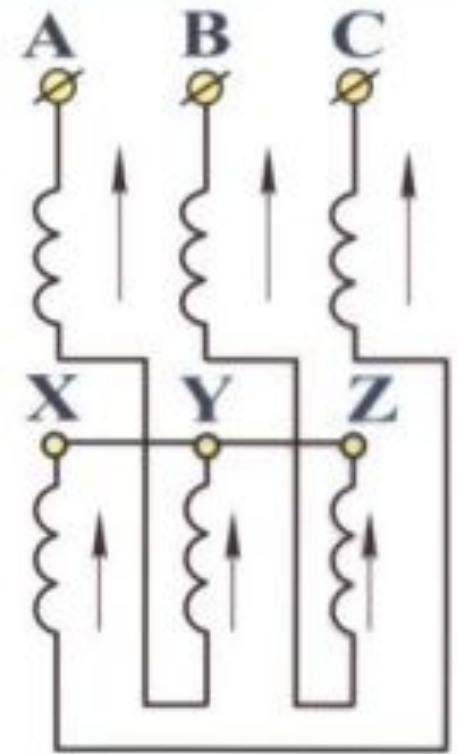
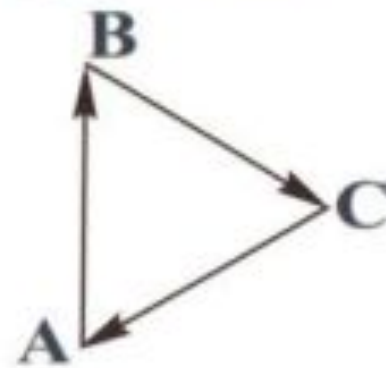
$$r_{K75} = r_K \frac{235+75}{235+9} ; \quad z_{K75} = \sqrt{r_{K75}^2 + x_K^2}$$



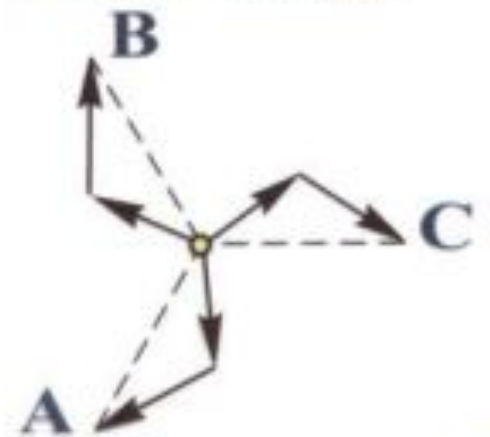
Звезда



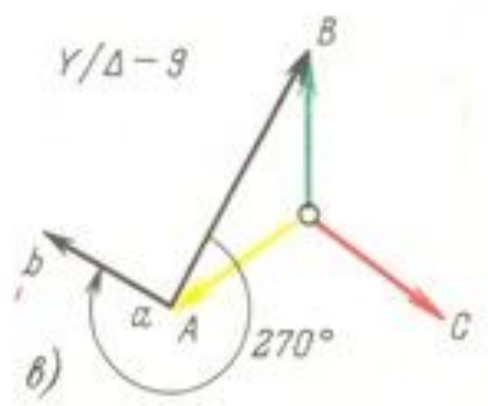
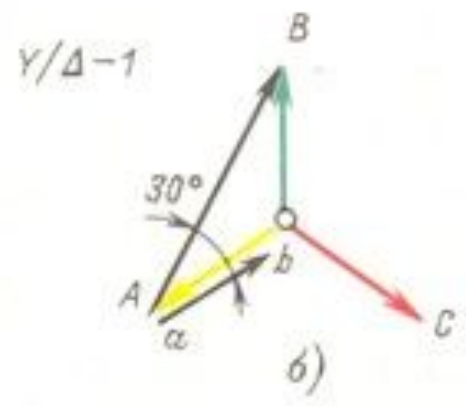
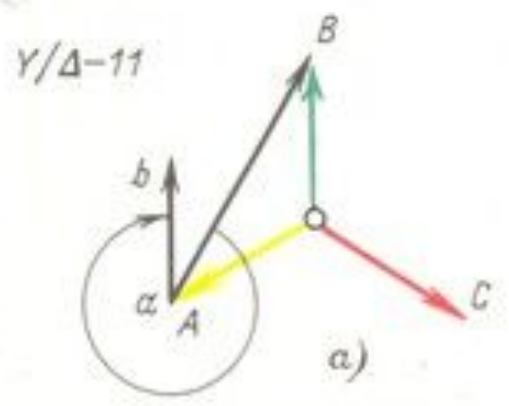
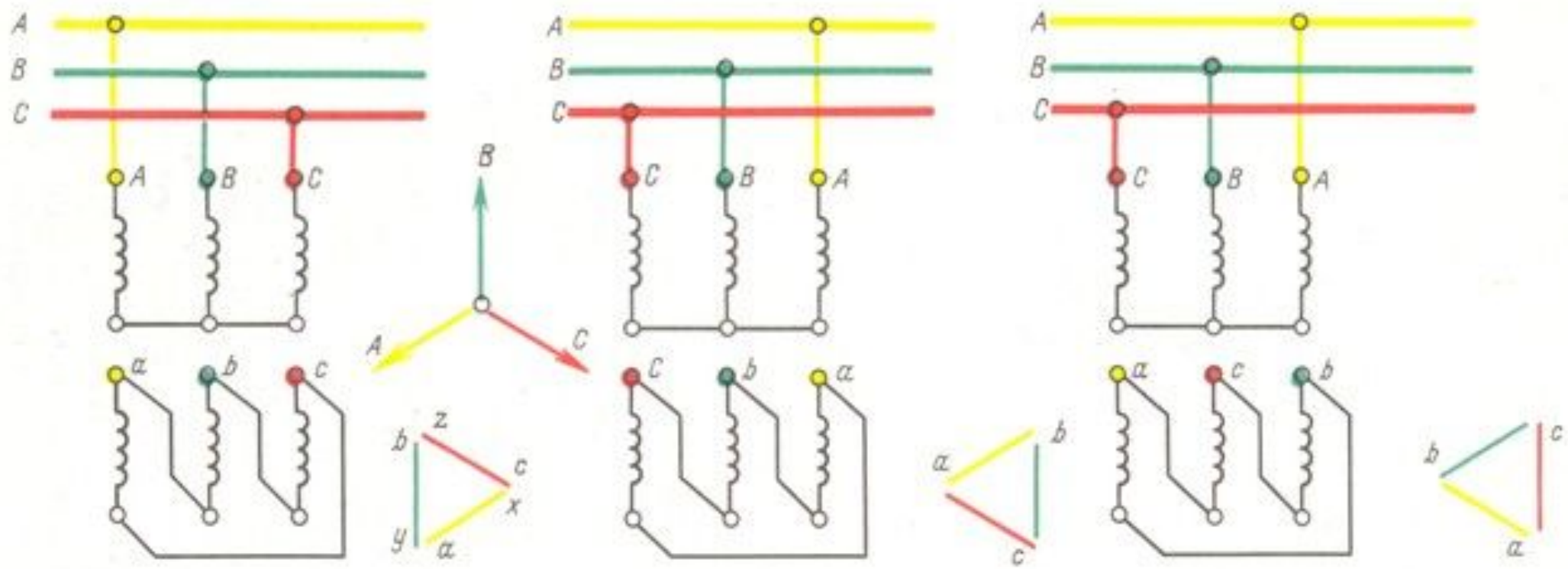
Треугольник

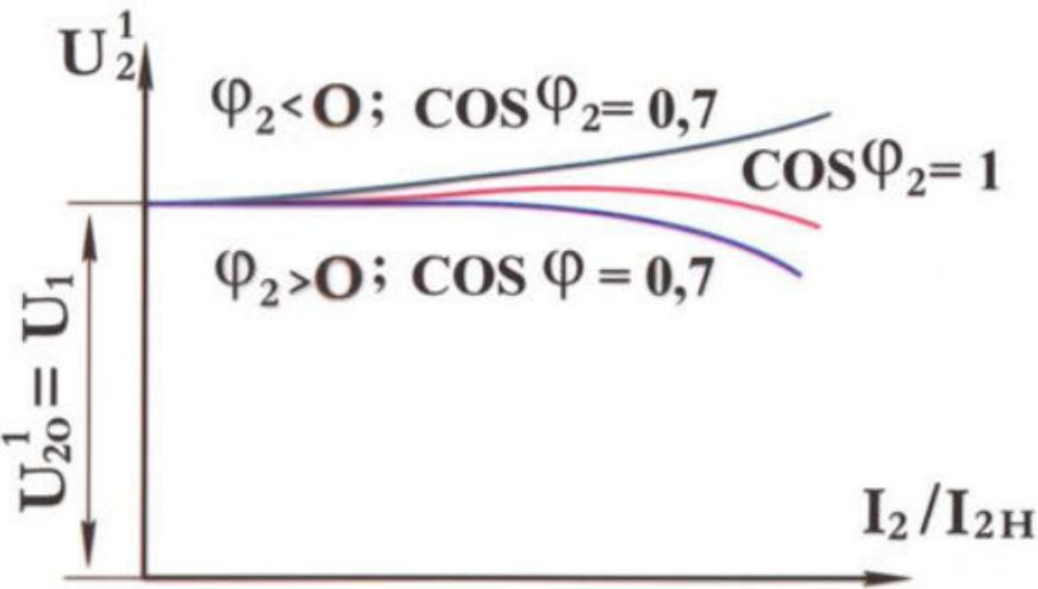


Зигзаг-звезда

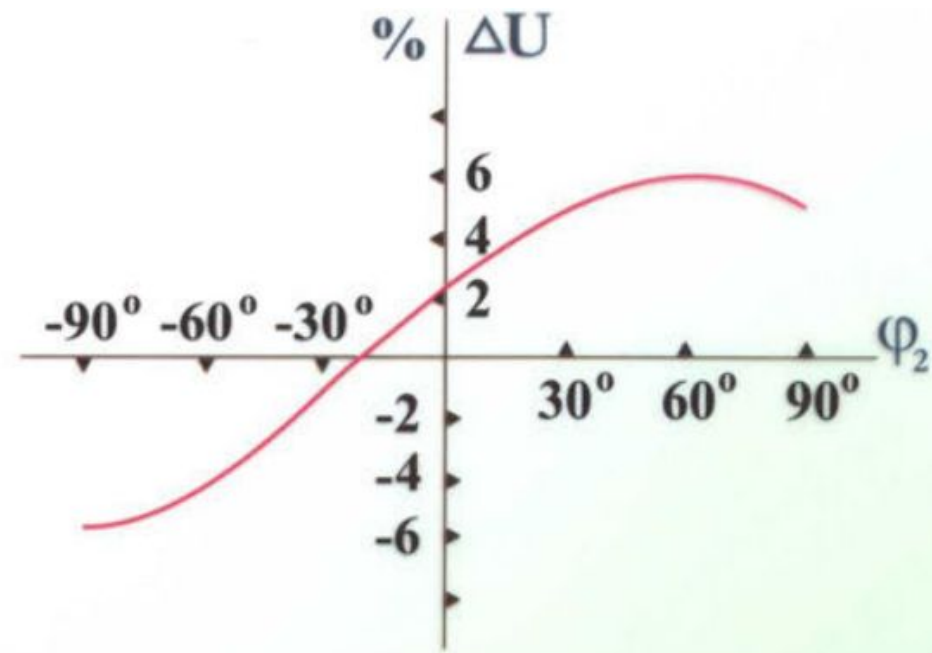


Схемы соединений трёхфазных трансформаторов

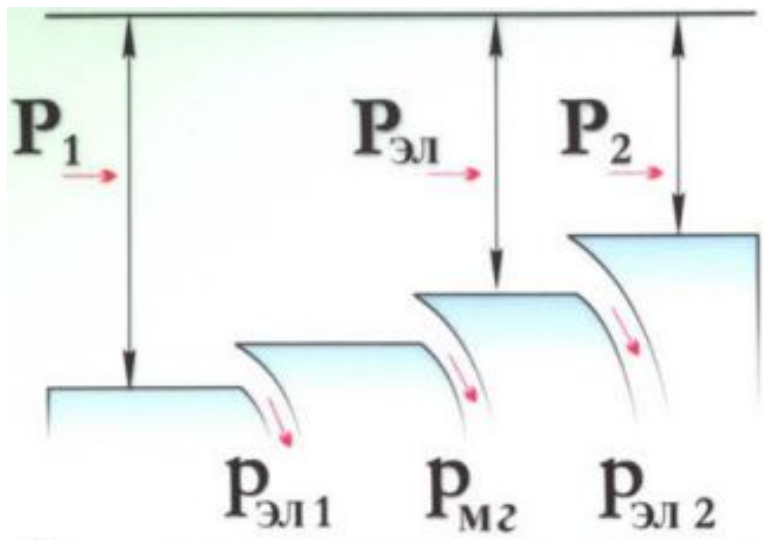




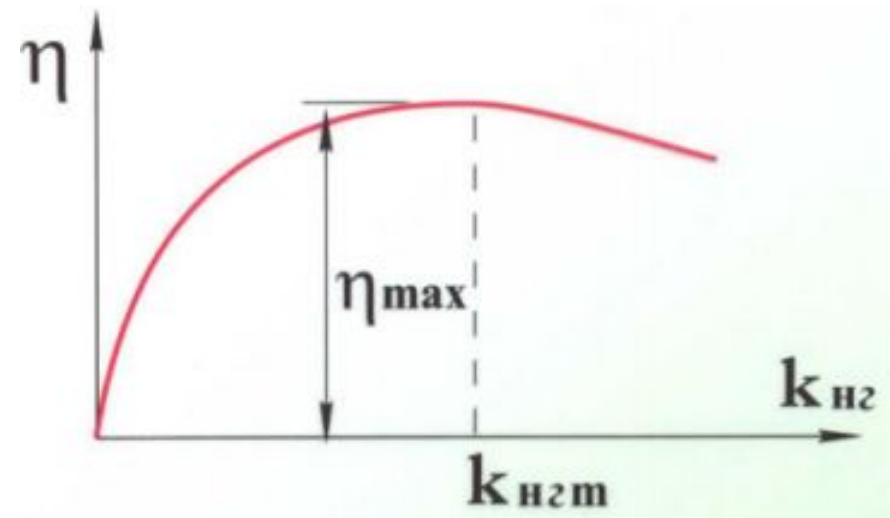
Внешние характеристики трансформатора



Зависимость изменения напряжения от характера нагрузки



Энергетическая диаграмма трансформатора



Зависимость КПД трансформатора от нагрузки

$$k_{H2} = I_2 / I_{2H}$$

Переключение без возбуждения ПБВ

ПБВ – переключение без возбуждения
(трансформатор отключают от сети).

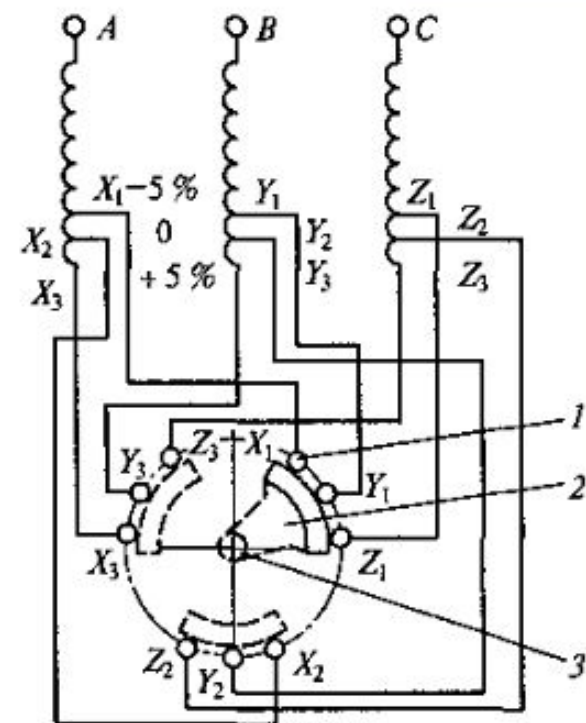
- ПБВ (устройство ПБВ, устройство переключения без возбуждения, устройство для переключения ответвлений обмотки невозбужденного и полностью отключенного от сети силового трансформатора.

- Устройство ПБВ позволяет регулировать напряжение в пределах $\pm 5\%$, для чего трансформаторы небольшой мощности, кроме основного вывода, имеют два ответвления от обмотки высшего напряжения: $+5\%$ и -5% .
- Если трансформатор работал на основном выводе 0 и необходимо повысить напряжение на вторичной стороне U_2 , то, отключив трансформатор, производят переключение на ответвление -5% , уменьшая тем самым число витков ω_1 .
- Устройство ПБВ не позволяет регулировать напряжение в течение суток, так как это потребовало бы частого отключения трансформатора для производства переключений, что по условиям эксплуатации практически недопустимо. Обычно ПБВ используется только для сезонного регулирования напряжения.

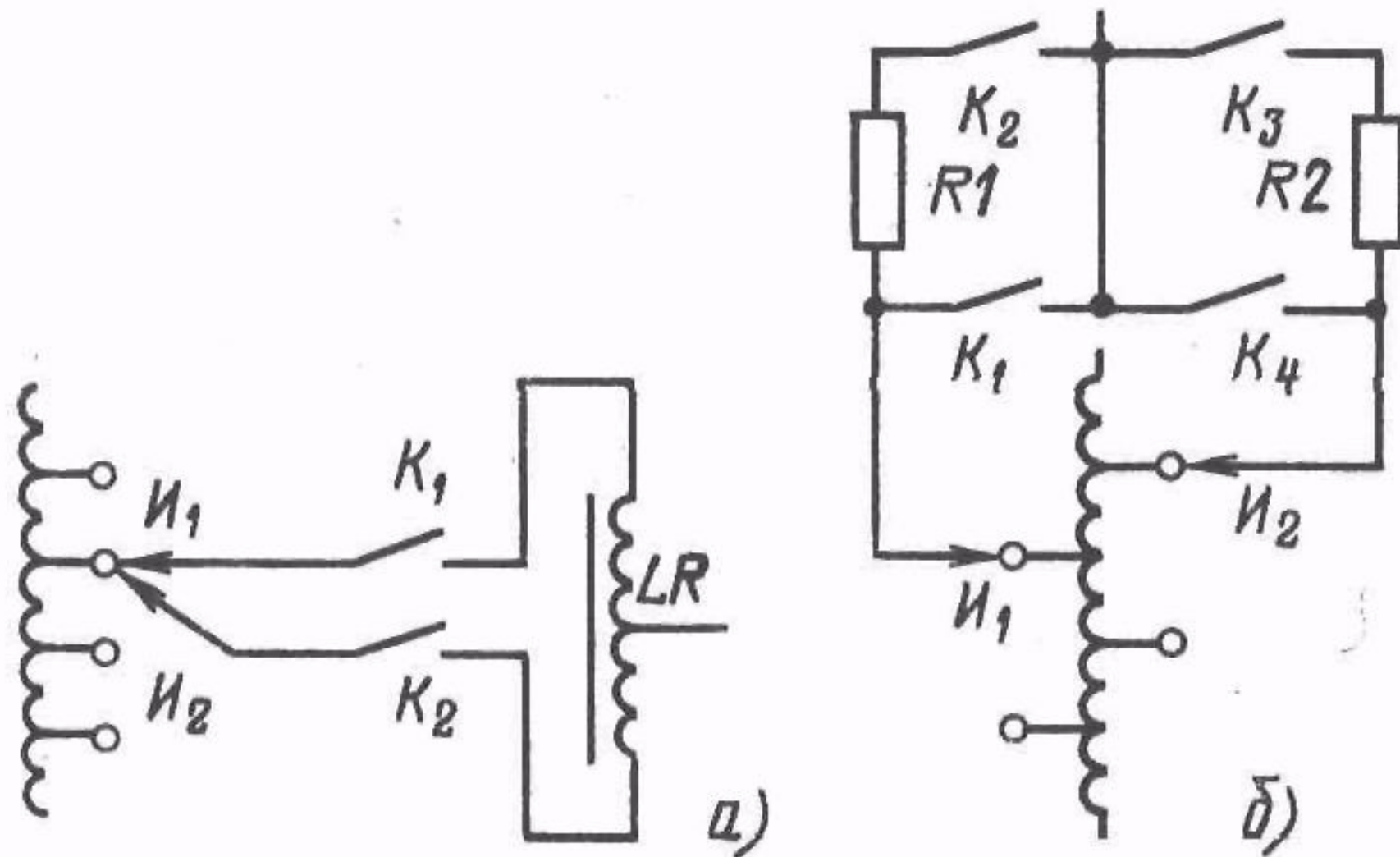


Схема регулирования напряжения ПБВ

- 1 – неподвижный контакт;
- 2 – сегмент контактный;
- 3 – вал переключателя;
- 4 – контактные кольца

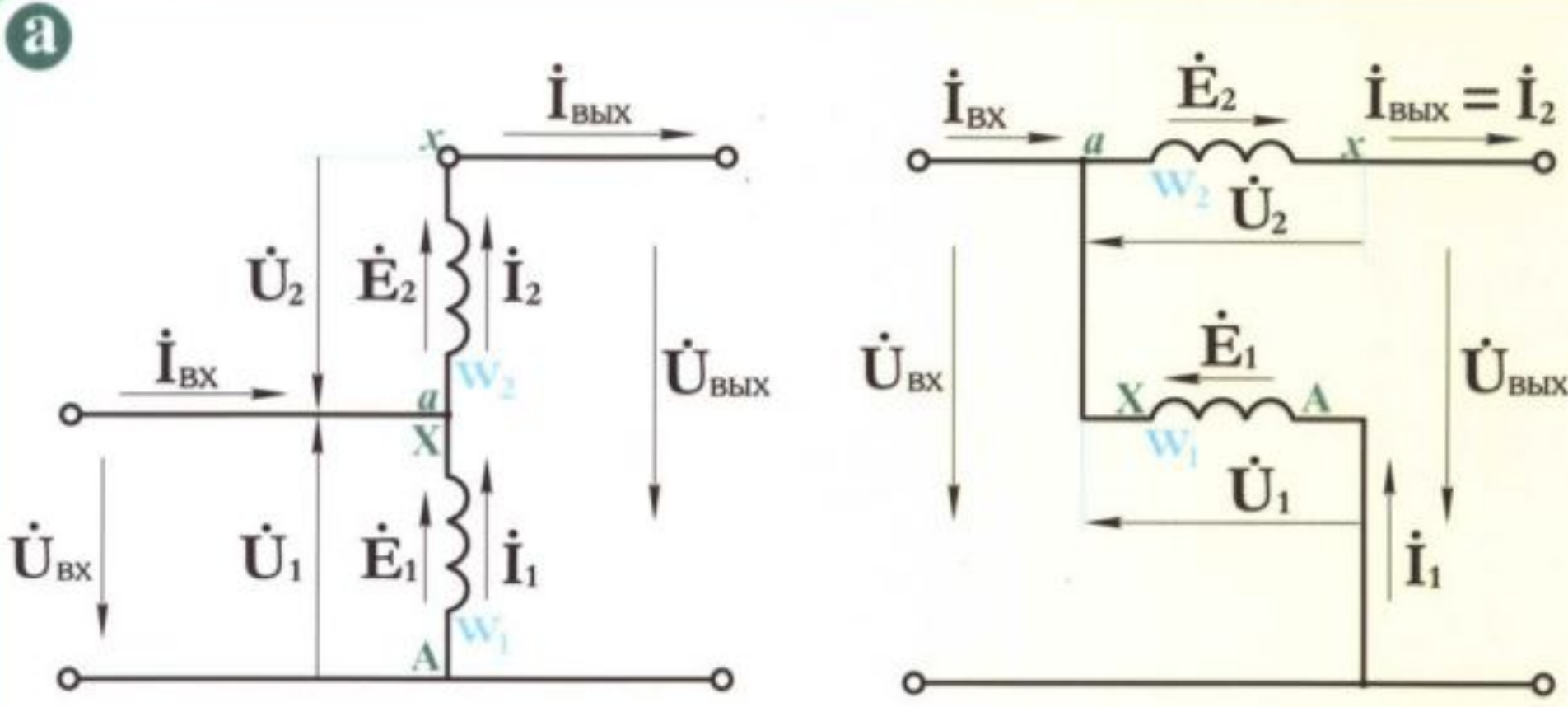


Регулирование под нагрузкой (РПН)



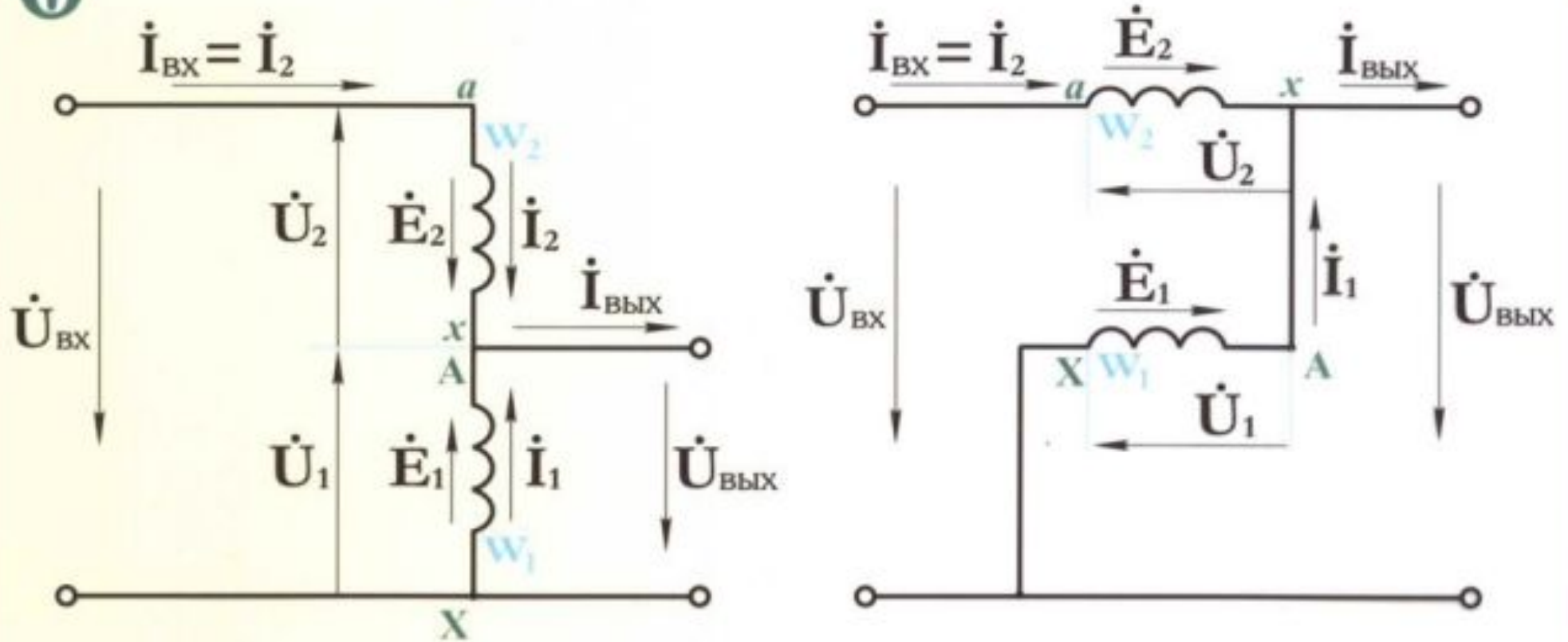
Схемы переключателей устройств:

a – РПН с реактором; $б$ – РПН с резисторами



Повышающий
автотрансформатор

6



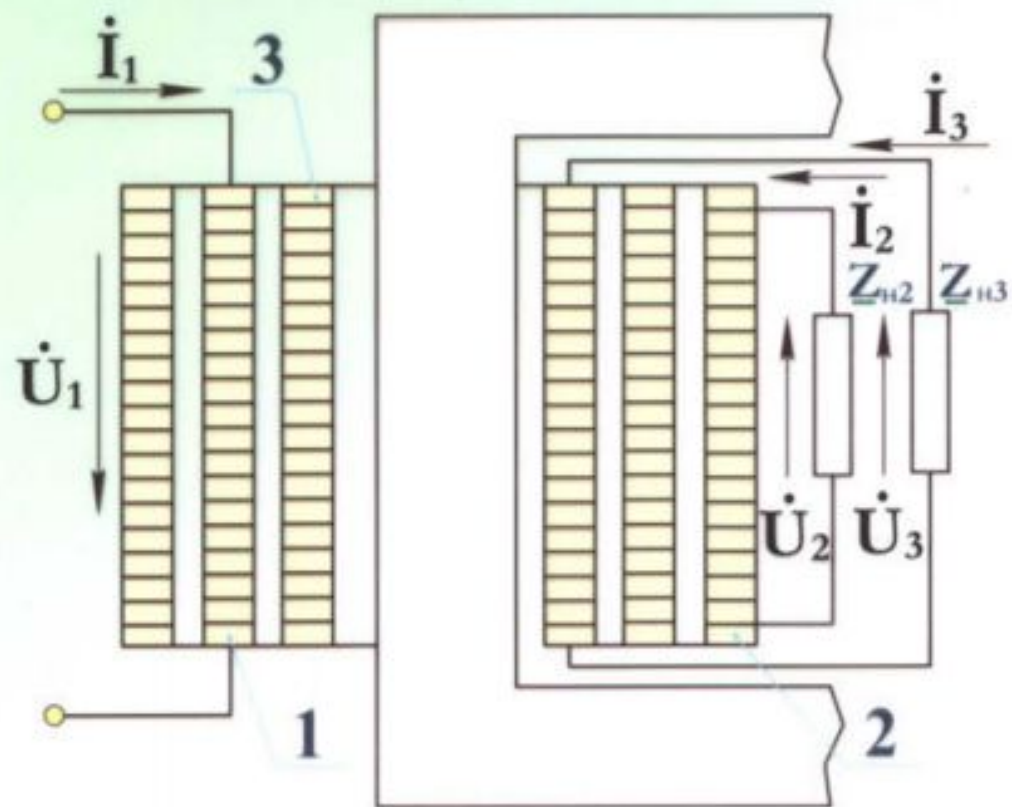
Понижающий автотрансформатор

$$K_B = |U_{ВХ} - U_{ВЫХ}| / U_{ВХ}$$

- коэффициент выгоды трансформатора
(чем меньше, тем АТ выгоднее, чем обычный тр.)

Обычно $K_B = 0,3 - 0,7$

ТРЕХОБМОТОЧНЫЙ
ТРАНСФОРМАТОР



1- первичная обмотка;
2-3- вторичные обмотки.

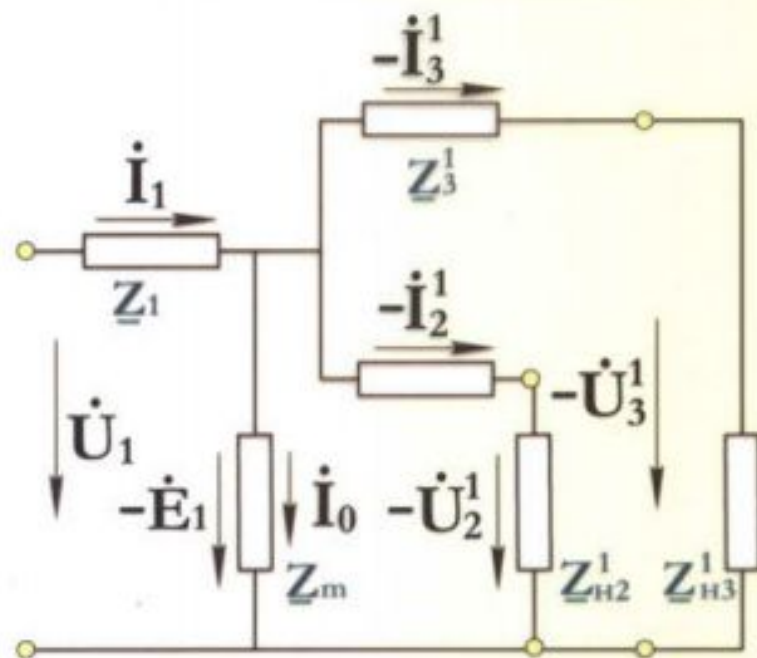
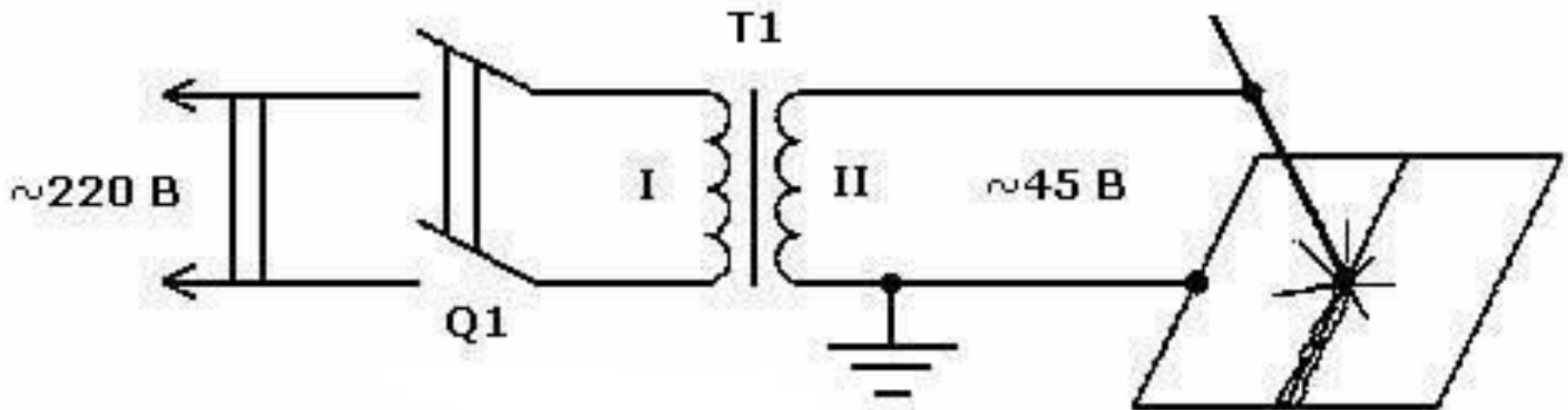


Схема замещения
трёхобмоточного
трансформатора

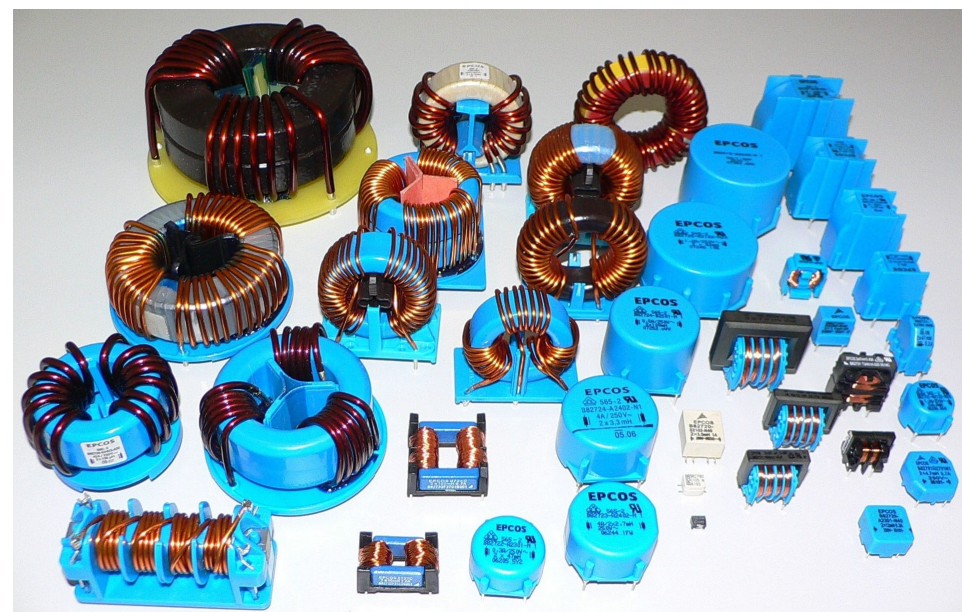
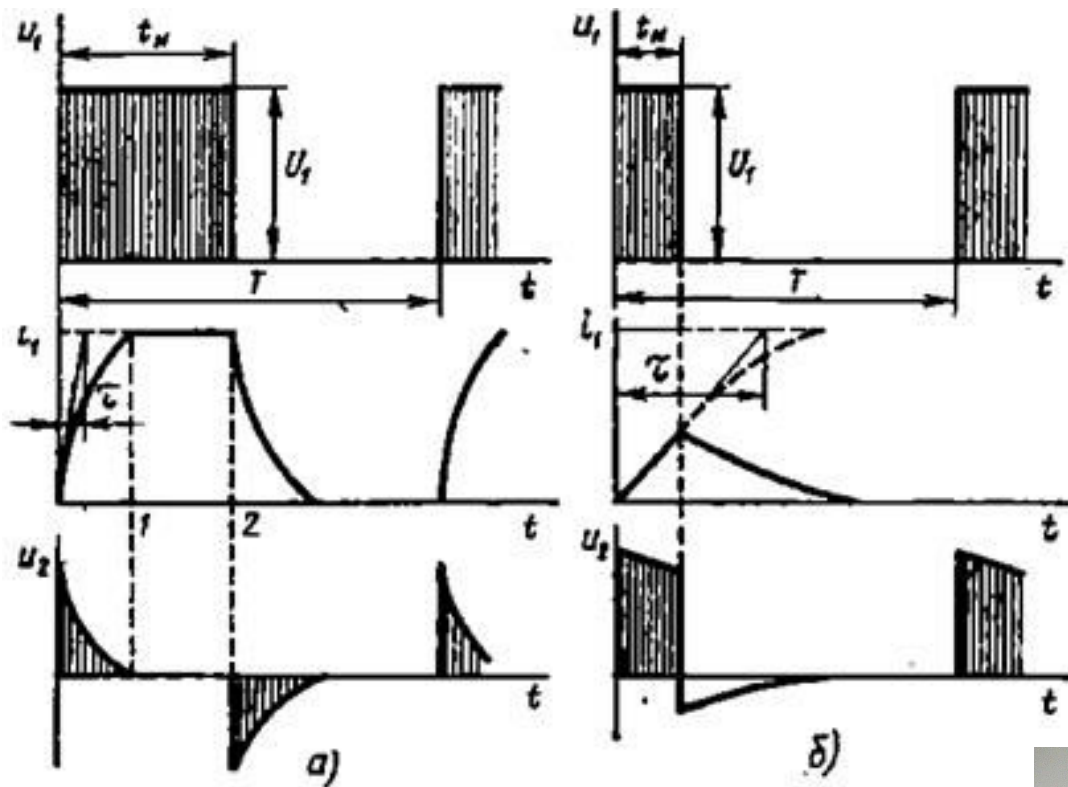
Сварочный трансформатор



Печной трансформатор



Импульсный трансформатор



Измерительный трансформатор тока

