



Омский государственный технический университет  
каф. Технология электронной аппаратуры

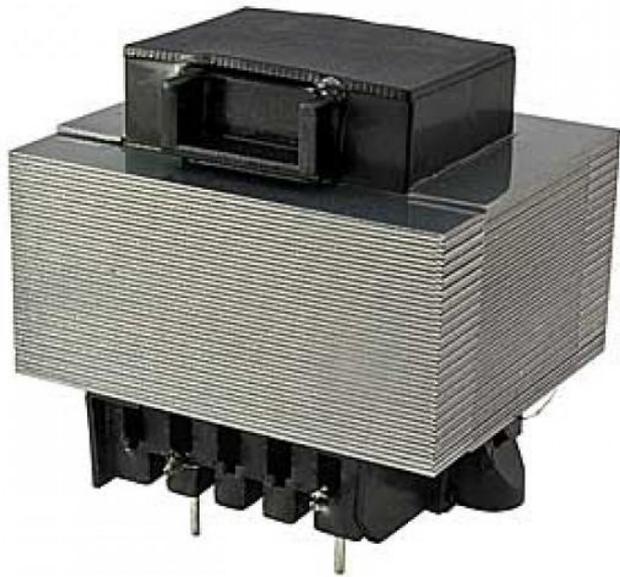
Дисциплина  
**Радиоматериалы и радиокомпоненты**

**Лекция 11. Моточные изделия:  
трансформатор.**

Ст. преп. Пономарёв Д.Б.



# Трансформаторы

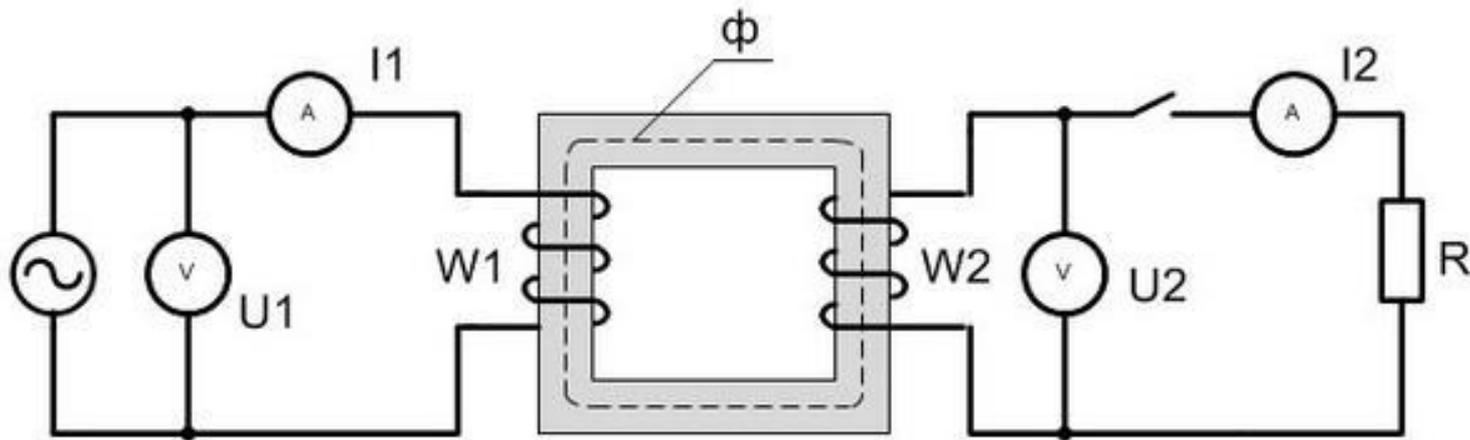




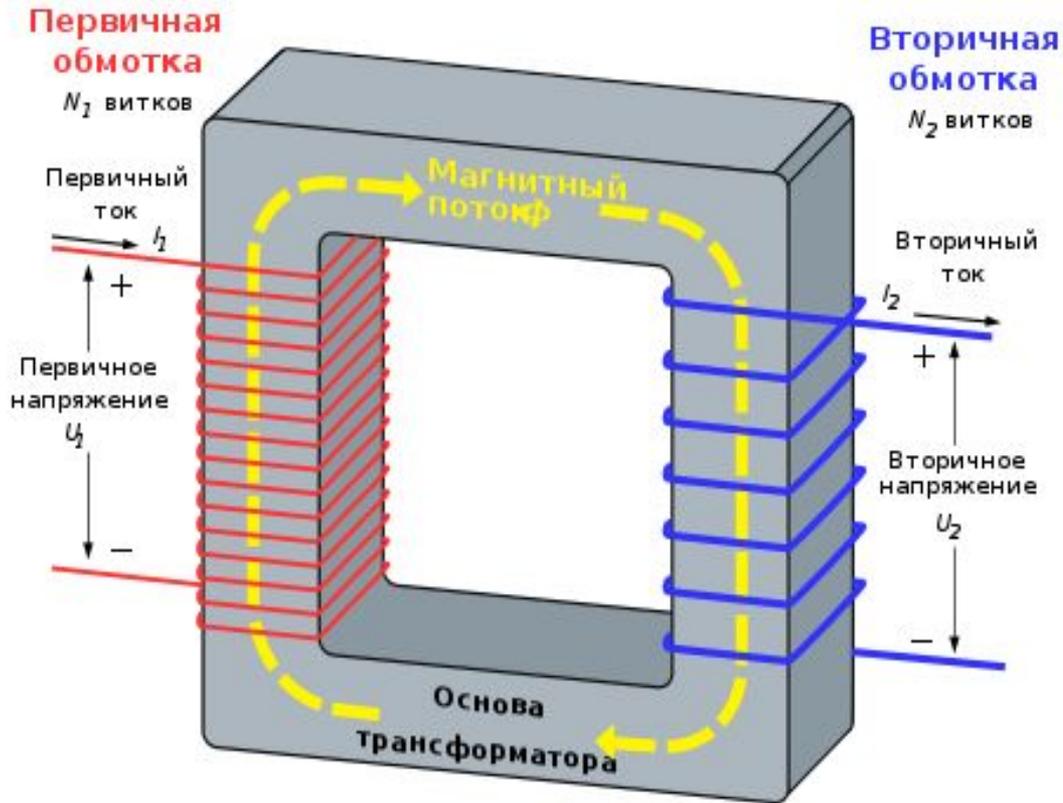
30 ноября 1876 года 30 ноября 1876 года 30 ноября 1876 года, дата получения патента 30 ноября 1876 года, дата получения патента Яблочковым Павлом Николаевичем, считается датой рождения первого трансформатора. Это был трансформатор с разомкнутым сердечником, представлявшим собой стержень, на который наматывались обмотки.

Первые трансформаторы с замкнутыми сердечниками были созданы в Англии в 1884 году братьями Джоном и Эдуардом Гопкинсон<sup>1</sup>. В 1885 г. венгерские инженеры фирмы «Ганц и К<sup>о</sup>» Отто Блати, Карой Циперновский и Микша Дери изобрели трансформатор с замкнутым магнитопроводом, который сыграл важную роль в дальнейшем развитии конструкций трансформаторов.

Трансформаторами называются электромагнитные устройства, имеющие две или большее число индуктивно-связанных обмоток и предназначенные для изменения величины переменного напряжения (тока).



# Устройство трансформатора.



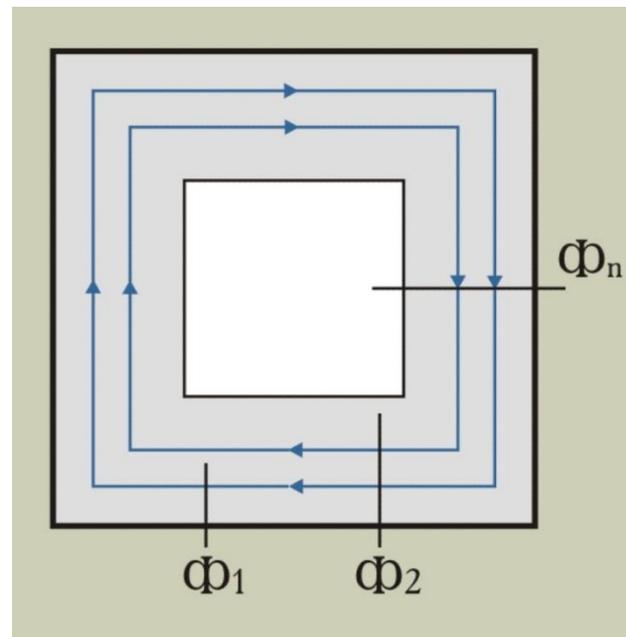
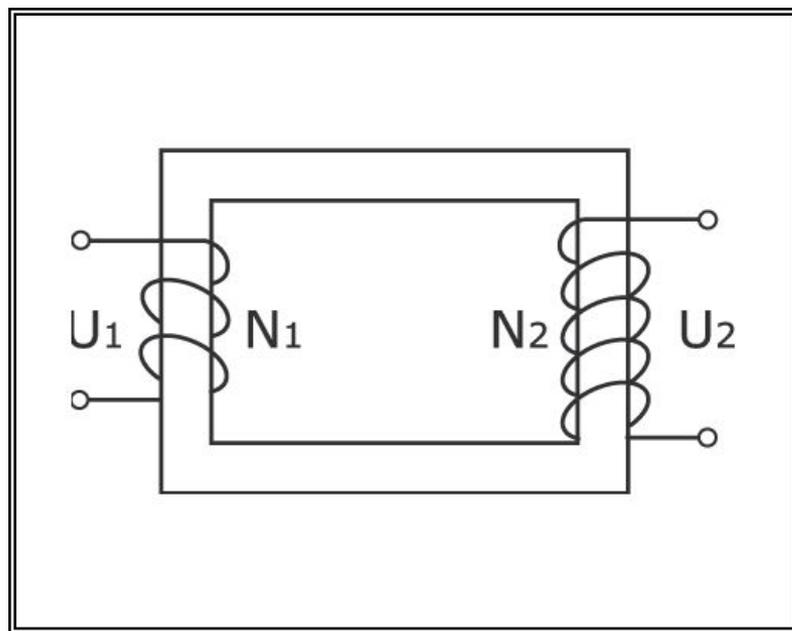
*Две катушки с разным числом витков одеты на магнитный сердечник*

- Катушка, подключенная к источнику – первичная катушка. ( $N_1, U_1, I_1$ )
- Катушка, подключенная к потребителю – вторичная катушка. ( $N_2, U_2, I_2$ ) N-число витков. U-напряжение. I-сила тока.

- Работа трансформатора основана на двух базовых принципах:
- 1. Изменяющийся во времени электрический ток изменяющийся во времени электрический ток создаёт изменяющееся во времени магнитное поле изменяющийся во времени электрический ток создаёт изменяющееся во времени магнитное поле (электромагнетизм)
  - 2. Изменение магнитного потока, проходящего через обмотку, создаёт ЭДС изменение магнитного потока, проходящего через обмотку, создаёт ЭДС в этой обмотке (электромагнитная индукция)
- На одну из обмоток, называемую *первичной обмоткой*, подаётся напряжение от внешнего источника. Протекающий по первичной обмотке переменный ток создаёт переменный магнитный поток, подаётся напряжение от внешнего источника. Протекающий по первичной обмотке переменный ток создаёт переменный магнитный поток в магнитопроводе. В результате электромагнитной индукции, подаётся напряжение от

## Режим холостого хода

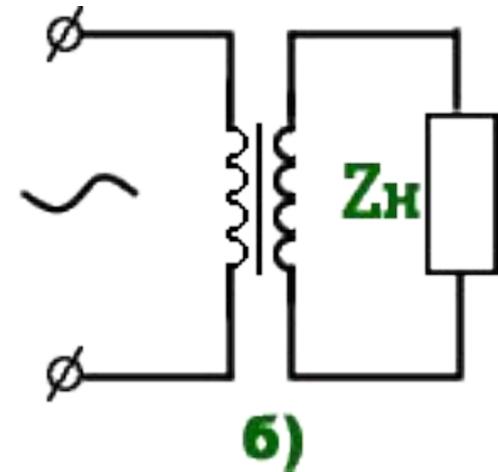
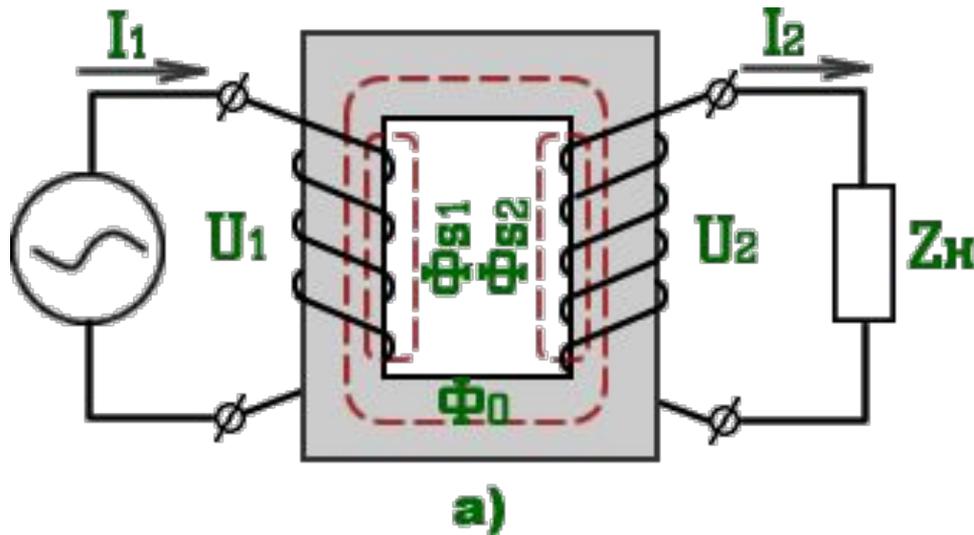
Данный режим характеризуется разомкнутой вторичной цепью трансформатора, вследствие чего ток в ней не течёт. С помощью опыта холостого хода можно определить [КПД](#) трансформатора, коэффициент трансформации, а также потери в сердечнике.



Переменный ток создает в сердечнике переменное магнитное поле.

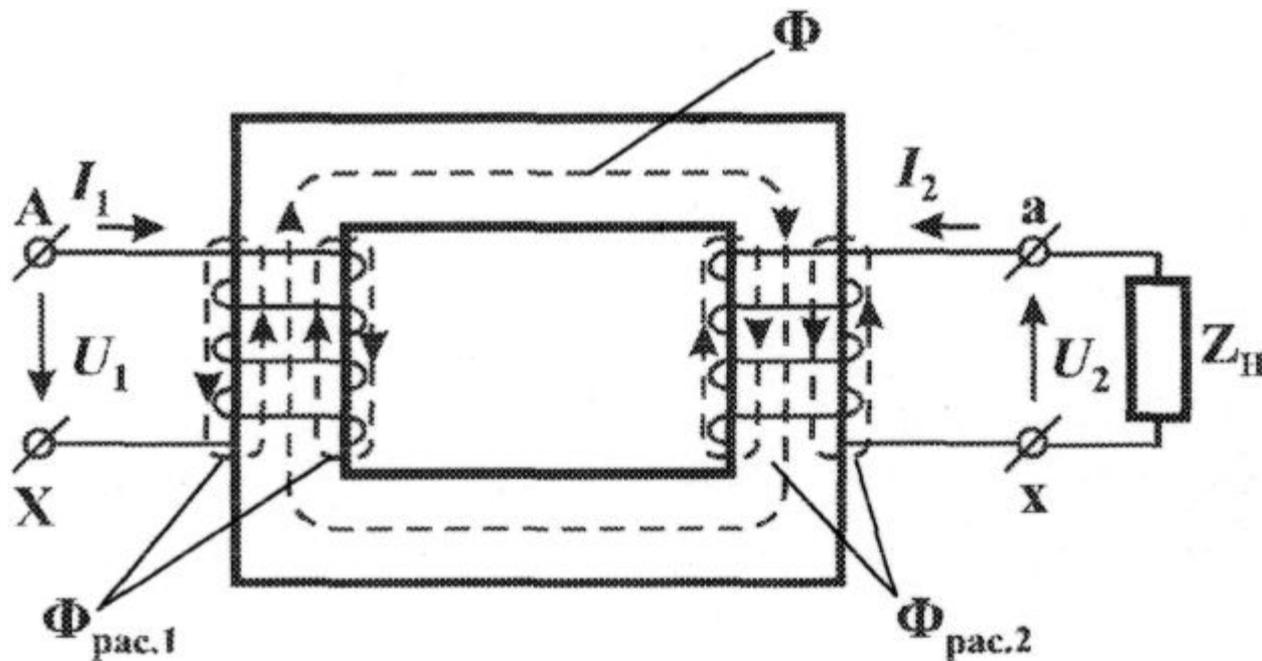
## Режим нагрузки

Режим работы возбужденного трансформатора при наличии токов не менее, чем в двух его основных обмотках, каждая из которых замкнута на внешнюю цепь. Режим нагрузки трансформатора номинальным током при номинальных частоте и напряжении



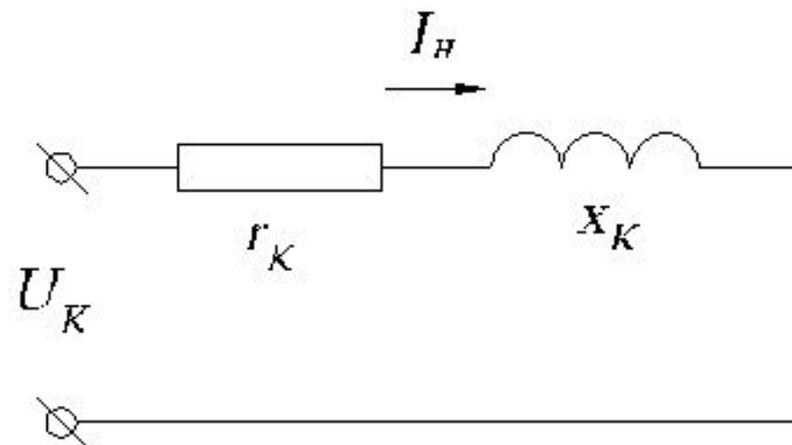
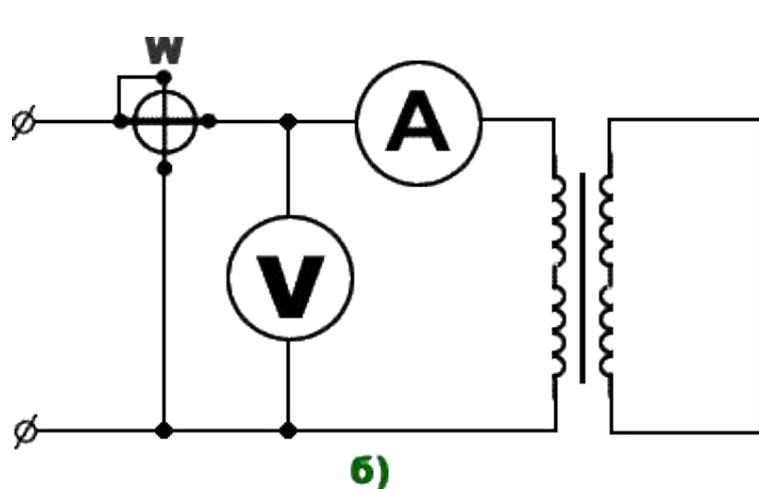
## Режим нагрузки

Ток первичной обмотки будет больше, чем при холостом ходе, т. е. **суммарный магнитный поток первичной и вторичной обмоток трансформатора в режиме нагрузки равен магнитному потоку первичной обмотки в режиме холостого хода.**



## Режим короткого замыкания

Величину напряжения на входе устанавливают такую, чтобы ток короткого замыкания равнялся номинальному (расчётному) току трансформатора. В таких условиях величина напряжения короткого замыкания характеризует потери в обмотках трансформатора, потери на омическом сопротивлении.



# Классификация трансформаторов

В зависимости от назначения трансформаторы подразделяются на **трансформаторы питания, согласующие, импульсные** и другие.

например ГОСТ 16110-82 ТРАНСФОРМАТОРЫ  
СИЛОВЫЕ

[http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/570410/transformatory\\_silovye\\_terminy\\_i\\_opredeleniya.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/570410/transformatory_silovye_terminy_i_opredeleniya.pdf)

**Трансформаторы питания** применяются в блоках питания радиоустройств и служат для получения переменных напряжений, необходимых для нормального функционирования аппаратуры.

**маломощные** ( выходная мощность до 1 кВт )

**мощные** ( выходная мощность более 1 кВт),

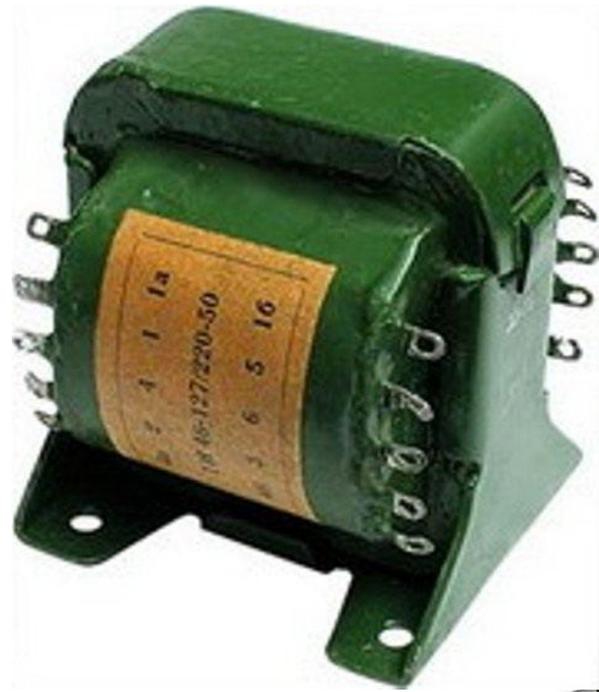
**низковольтные** ( напряжение на обмотках не превышает 1000 В )

**высоковольтные.**

Также классифицируют по частоте (50 Гц, 400 Гц)

*Дроссели* - однообмоточные трансформаторы для устранения пульсаций тока.

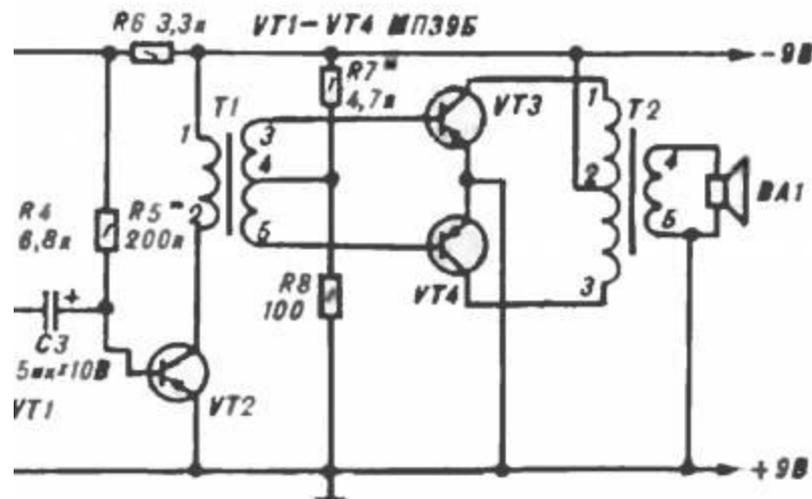
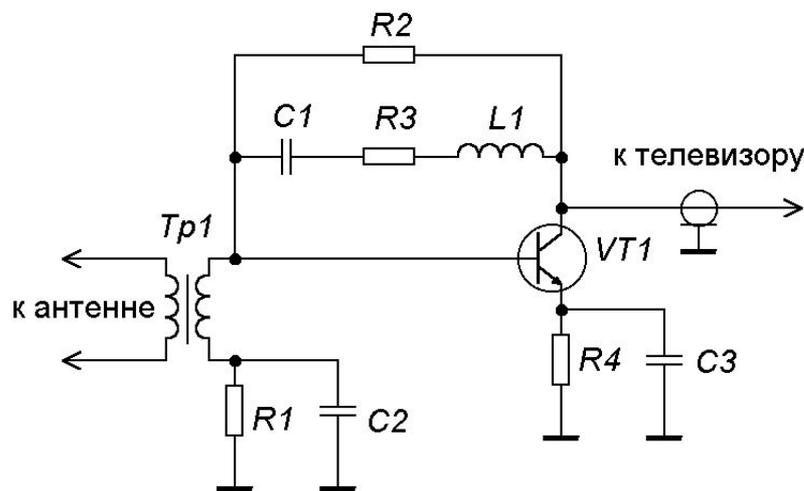
# Трансформаторы питания



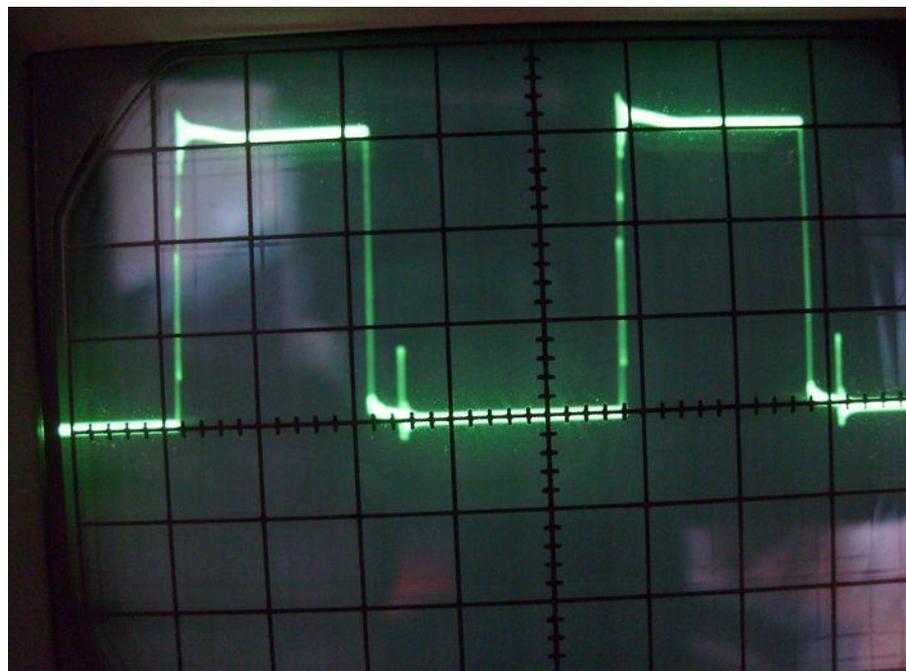
Основные виды трансформаторов

**Согласующие трансформаторы** предназначены для изменения уровня напряжений ( токов ) электрических сигналов, несущих полезную информацию. Они позволяют согласовать источник сигналов с нагрузкой при минимальном искажении сигнала.

Различают **входные, межкаскадные и выходные** трансформаторы.



***Импульсные трансформаторы*** предназначены для преобразования тока и напряжения импульсных сигналов с минимальным искажением исходной формы импульса на выходе.

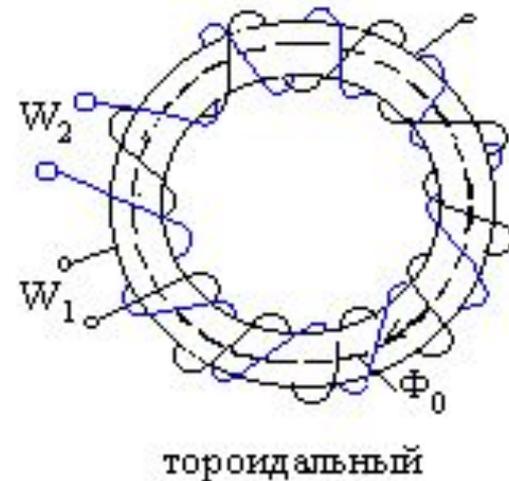
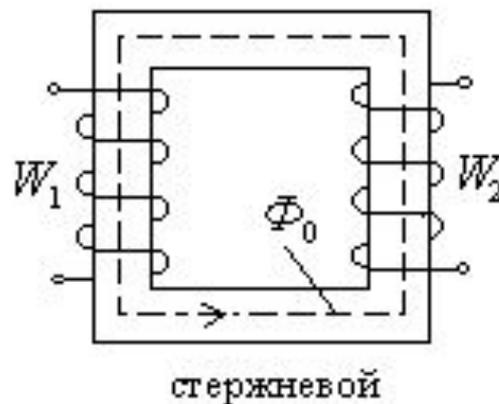
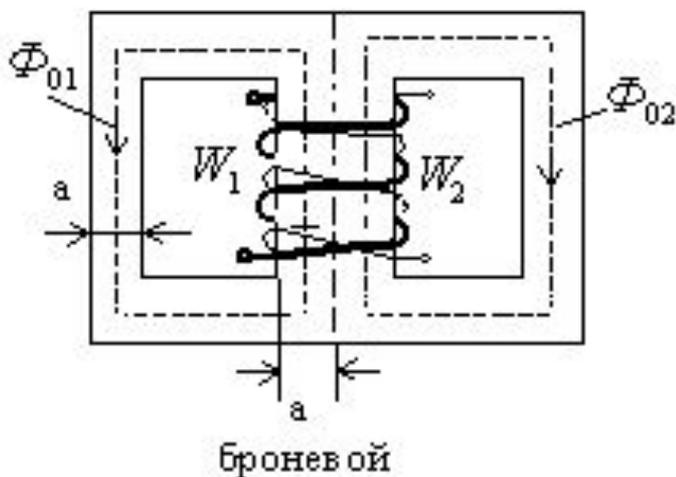


# Магнитопроводы трансформаторов

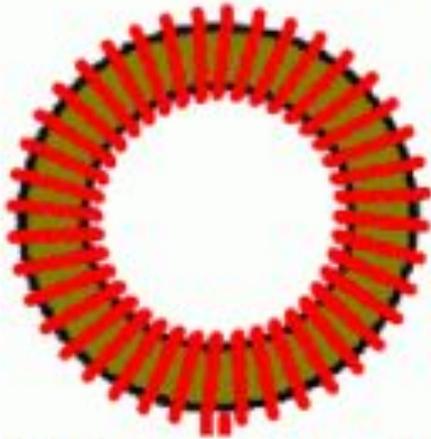
Магнитопроводы служат для обеспечения возможно более полной связи между первичной и вторичной цепями и увеличения магнитного потока.

Для трансформаторов применяют три типа магнитопроводов:

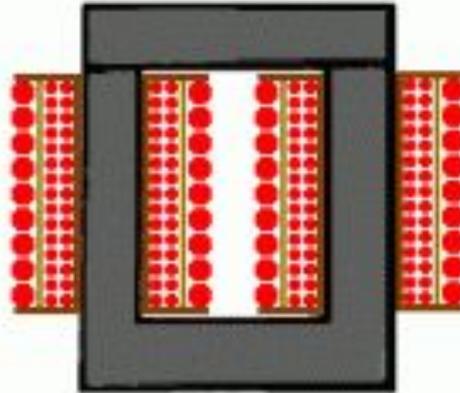
**броневой, стержневой и тороидальный.**



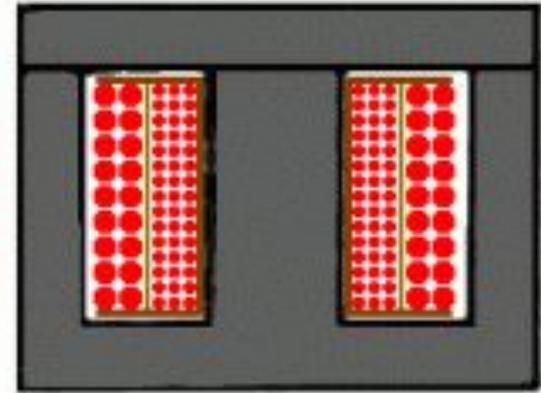
# Тип трансформатора



Тороидальный



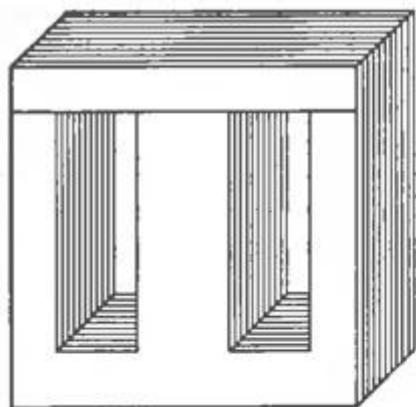
Стержневой



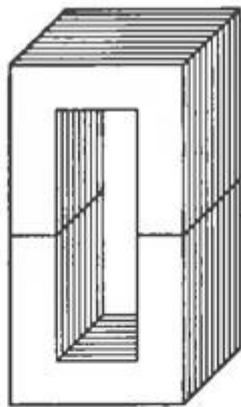
Броневой



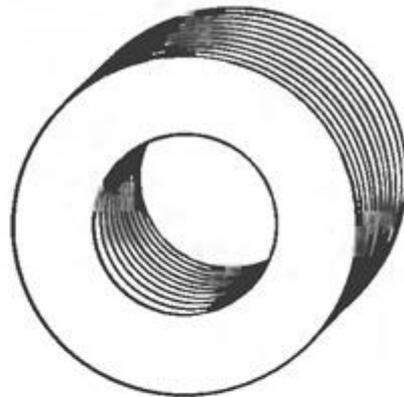
По конструкции сердечники подразделяют на собранные из **штампованных пластин** и **ленточные**.



а)



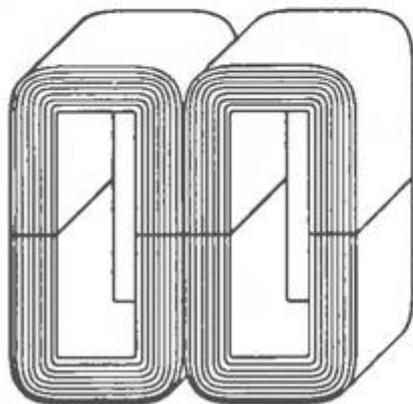
б)



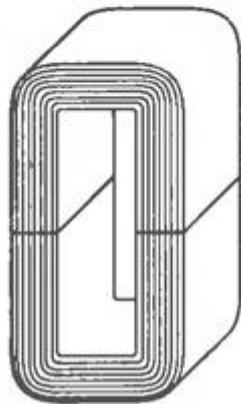
в)

штампованный

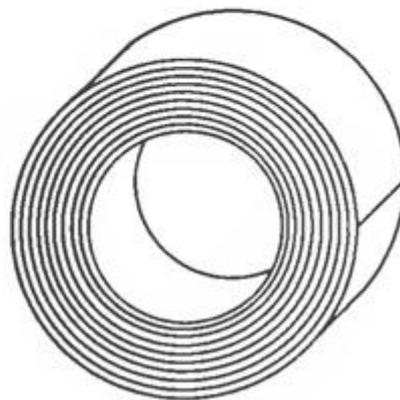
Рис. 1



а)



б)



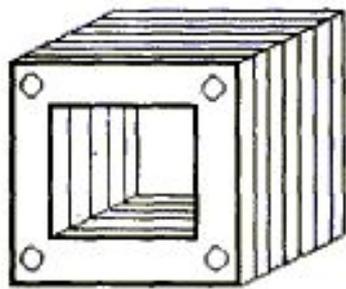
в)

ленточный

Рис. 2

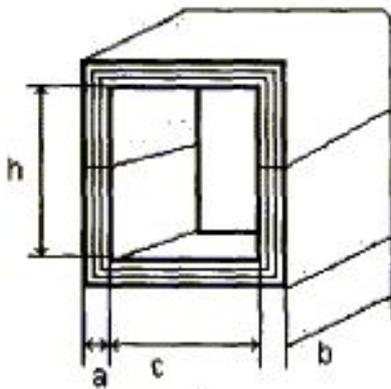
Трансформаторы со **стержневым** магнитопроводом используют обычно в качестве трансформаторов большой и средней мощности, так как наличие двух катушек увеличивает площадь теплоотдачи и улучшает тепловой режим обмоток. Обладают меньшей чувствительностью к внешним магнитным полям, так как знаки ЭДС помех, наводимых в двух катушках противоположны по знаку.

штампованный



а)

ленточный



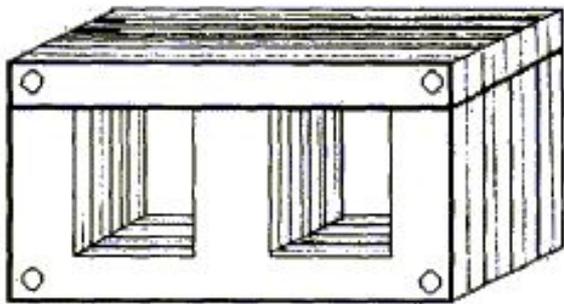
б)



Трансформаторы с **броневым** сердечником имеют разветвленную магнитную цепь. Используют в маломощных трансформаторах.

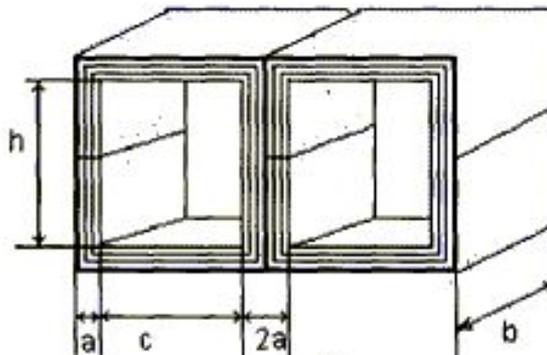
*Достоинства:* наличие только одной катушки с обмотками по сравнению со стержневыми трансформаторами, более высоким заполнением окна магнитопровода обмоточным проводом (медью), частичной защитой от механических повреждений катушки с обмотками ярмом магнитопровода.

штампованный

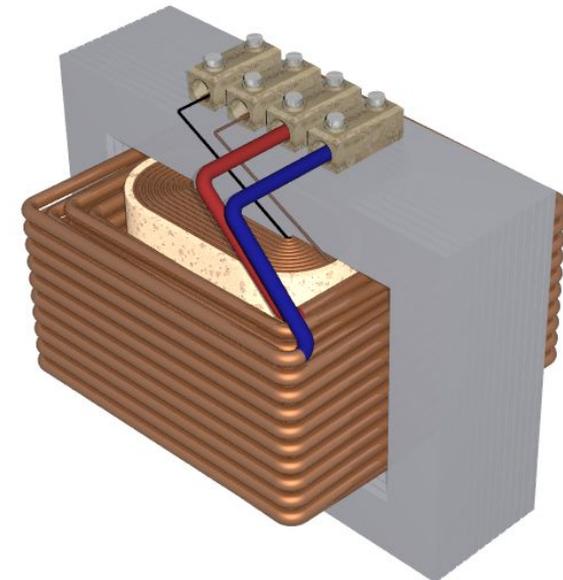


в)

ленточный



г)

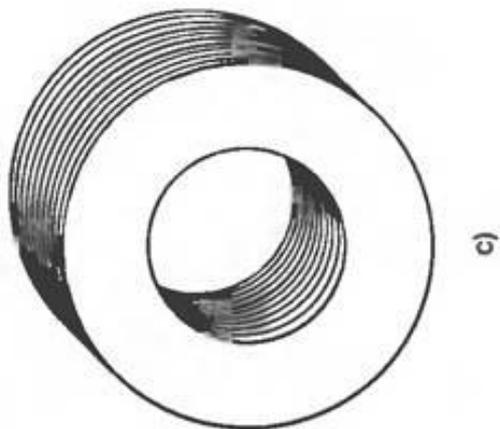


Трансформаторы на **торроидальных (кольцевых)** сердечниках наиболее сложные и дорогие.

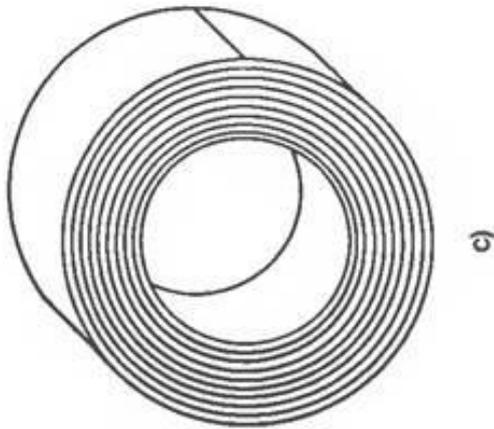
*Достоинства:* меньшее магнитное сопротивление, минимальный внешний поток рассеяния, нечувствительностью к внешним магнитным полям независимо от их направления.

*Недостатки:* сложная технология изготовления обмоток, условия охлаждения обмоток наиболее неблагоприятны по сравнению с другими трансформаторами.

штампованный



ленточный



В тороидальном трансформаторе обмотки равномерно распределены по всей длине магнитопровода. Это приводит к снижению массы медного провода и резкому уменьшению полей рассеяния. Круглая форма магнитопровода позволяет снизить его массу при той же габаритной мощности, что для трансформаторов с прямоугольной формой магнитопровода.

- меньшая масса (на 20...40 %) и габаритные размеры;
- меньший ток холостого хода (до 3...4 раз);
- сниженные поля рассеяния (до нескольких раз);
- значительно меньший уровень шума;
- более высокий коэффициент полезного действия



**Магнитопроводы для трансформаторов и дросселей** изготавливаются нескольких типов, основными из которых являются следующие:

**ШЛ** - броневой ленточный, с наименьшей массой;

**ШЛМ** - броневой ленточный, с уменьшенным расходом меди;

**ШЛО** - броневой ленточный, с увеличенной шириной окна;

**ШЛП** - броневой ленточный, с наименьшим объемом;

**ШЛР** - броневой ленточный, наименьшей стоимости;

**ПЛ** - стержневой ленточный;

**ПЛВ** - стержневой ленточный, с наименьшей массой;

**ПЛМ** - стержневой ленточный, с уменьшенным расходом меди;

**ПЛР** - стержневой ленточный, наименьшей стоимости;

**ОЛ** - тороидальный ленточный, с наименьшей массой.

<http://www.ra4a.ru/publ/1/8-1-0-649>

Для производства обмоток трансформаторов применяются как правило медные **обмоточные провода** в изоляции.

ПЭ- провод эмалированный

ПЭЛ- провод эмалированный лакостойкий

ПЭВ- провод эмалированный высокопрочный

ПЭЛ рассчитан на температуру до  $90^{\circ}\text{C}$ ,  
кратковременно  $105^{\circ}\text{C}$  ;

ПЭВ до  $105^{\circ}\text{C}$ , кратковременно до  $125^{\circ}\text{C}$

Обмотки наматываются на каркас ( пластмасса,  
текстолит, гетинакс, картон).

# Условные обозначения трансформаторов и дросселей

**Т** - трансформатор питания;

**ТА** - трансформатор питания анодных цепей;

**ТН** - трансформатор питания накальных цепей;

**ТАН** - трансформатор питания анодно-накальных цепей;

**ТПП** - трансформатор питания устройств на полупроводниковых приборах;

**ТР** - трансформатор питания с ребрением для охлаждения;

**ТС** - трансформатор питания бытовой радиоаппаратуры;

**ТТ** - трансформатор питания тороидальный;

# Условные обозначения трансформаторов и дросселей

**ТВТ** - трансформатор входной для транзисторных устройств;

**ТОТ** - трансформатор выходной (оконечный) для транзисторных устройств;

**Т** - трансформатор согласующий;

**ТМ** - трансформатор согласующий, маломощный;

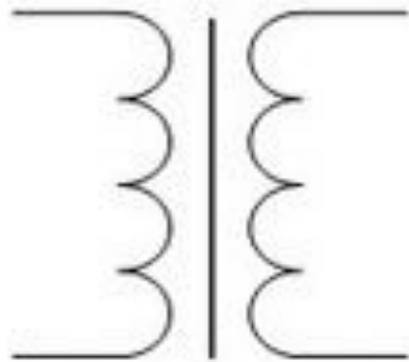
**ТИ** - трансформатор импульсный, миниатюрный;

**ТИМ** - трансформатор импульсный, миниатюрный, маломощный;

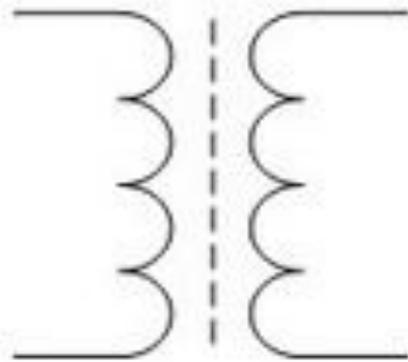
**Д1-Д274** - Дроссели унифицированные, низкочастотные;

**Д, Др** - дроссели фильтров для бытовой радиоаппаратуры.

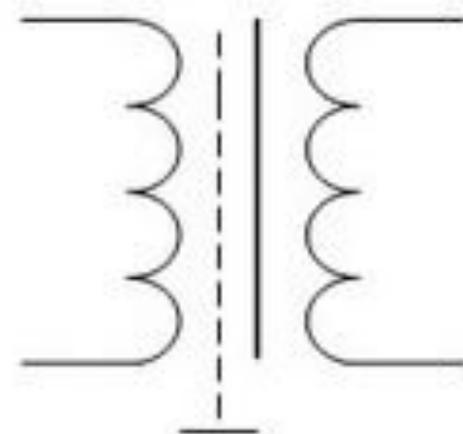
# Условные обозначения трансформаторов на электрических схемах



Трансформатор с  
стальным  
сердечником



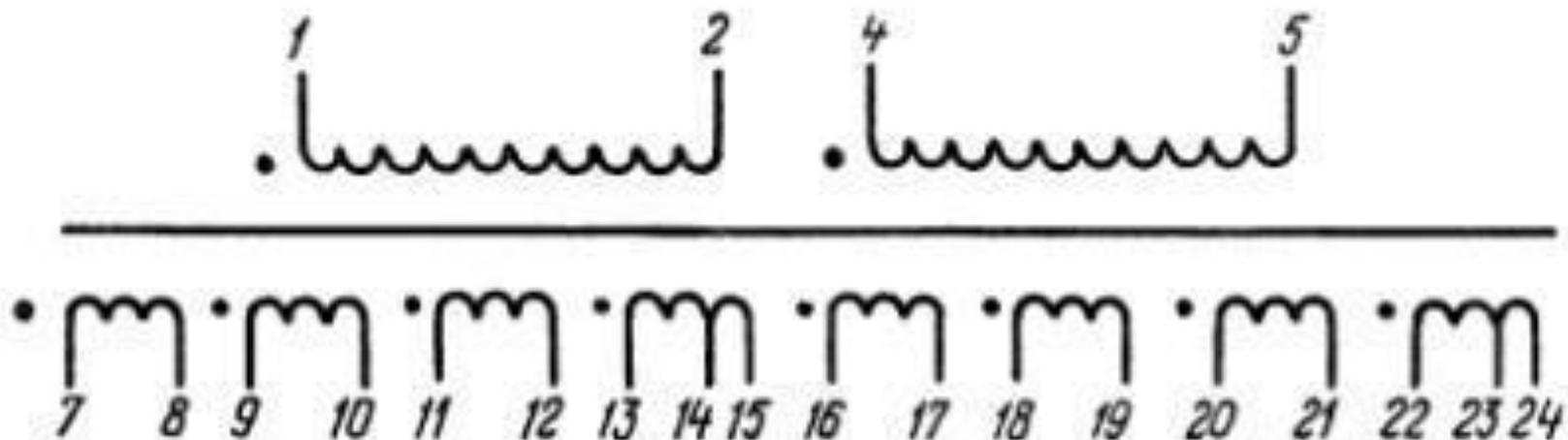
Трансформатор с  
сердечником из  
феррита



Трансформатор с  
экраном

трансформаторы подразделяются на однообмоточные, двухобмоточные и многообмоточные.

# Условные обозначения трансформаторов на электрических схемах



трансформаторы подразделяются на однообмоточные, двухобмоточные и многообмоточные.

# Основные параметры

1. **Номинальная мощность трансформатора** (в кВА: 0,010, 0,016 , 0,025, 0,040, 0,063, 0,100, 0,160...)
2. **Коэффициент полезного действия** зависит от мощности потерь в стали и меди
3. **Номинальные напряжения обмоток ГОСТ 21128-83** устанавливает следующий ряда напряжений в вольтах: 6; 12; 28,5; 42; 115; 230; указанные напряжения могут иметь отклонения в большую или меньшую стороны на 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 15 %
4. **Ток холостого хода** - это ток первичной обмотки ненагруженного трансформатора при номинальном напряжении. Активная составляющая определяется потерями в стали на вихревые токи, реактивная - магнитным потоком рассеяния.

5. **Напряжение короткого замыкания** представляет собой напряжение на первичной обмотке при замкнутых выводах вторичной обмотки и протекании номинального тока в первичной обмотке. Показывает величину относительного превышения напряжения на вторичной обмотке на холостом ходу по сравнению с напряжением полностью нагруженной обмотки.
6. **Напряжения холостого хода** вторичных обмоток - это значения напряжений при номинальном напряжении первичной обмотки ненагруженного трансформатора.
7. **Ток переходного процесса включения (пусковой ток)** - это максимальное (импульсное) значение тока, которое может протекать через первичную обмотку трансформатора в момент подключения трансформатора к питающей сети. Этот параметр ГОСТом не нормируется

**8. Превышение температуры (температура перегрева)** - это разница между температурой трансформатора и температурой окружающей среды (обычно принимается  $25^{\circ}\text{C}$ ) при работе трансформатора на номинальную нагрузку. При этом температура трансформатора равна сумме температур перегрева и окружающей среды. Как правило, производитель трансформаторов определяет в технических условиях (ТУ) допустимую температуру перегрева  $50\dots 60^{\circ}\text{C}$ , а предельную температуру окружающей среды -  $55^{\circ}\text{C}$ . Предельная температура трансформатора определяется классом нагревостойкости по ГОСТ 8865-70: А -  $105^{\circ}\text{C}$ , Е -  $120^{\circ}\text{C}$ , В -  $130^{\circ}\text{C}$ , F -  $155^{\circ}\text{C}$ . Большинство трансформаторов широкого применения имеет класс В.

## Работа трансформатора

Переменный ток, протекающий по первичной обмотке, создает в сердечнике трансформатора переменный магнитный поток  $\Phi$ , который, пронизывая обмотки, индуцирует в каждой витке некоторую э. д. с. (E).

$$E = 4,44 \cdot \omega \cdot f \cdot \Phi_m$$

где E- действующее значение э.д.с.;

$\omega$ - число витков;

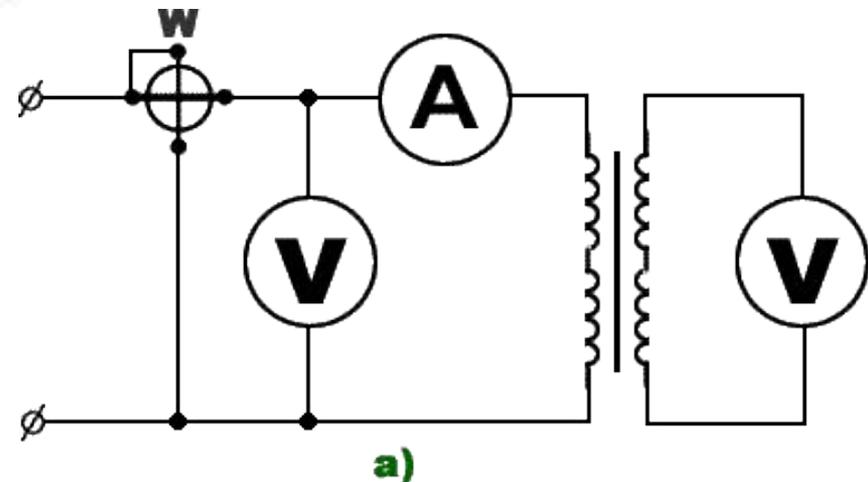
f- частота, Гц;

$\Phi_m$  - амплитудное значение магнитного потока, вб.

## Коэффициент трансформации

есть отношение напряжения на зажимах первичной обмотки к напряжению на зажимах вторичной обмотки при отсутствии нагрузки ( или, как принято говорить, при холостом ходе трансформатора).

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$$



Опыт холостого хода

# Классификация трансформаторов

В зависимости от величины коэффициента трансформации трансформаторы подразделяются:

- на повышающие  $\omega_1 < \omega_2$ ;  $U_1 < U_2$ ;  $K < 1$ ;
- на понижающие  $\omega_1 > \omega_2$ ;  $U_1 > U_2$ ;  $K > 1$ ;
- на переходные  $\omega_1 = \omega_2$ ;  $U_1 = U_2$ ;  $K = 1$ .

**К. п. д. трансформатора** это отношение вторичной мощности  $P_2$  к первичной  $P_1$  ( полезной мощности к потребляемой) выраженной в %.

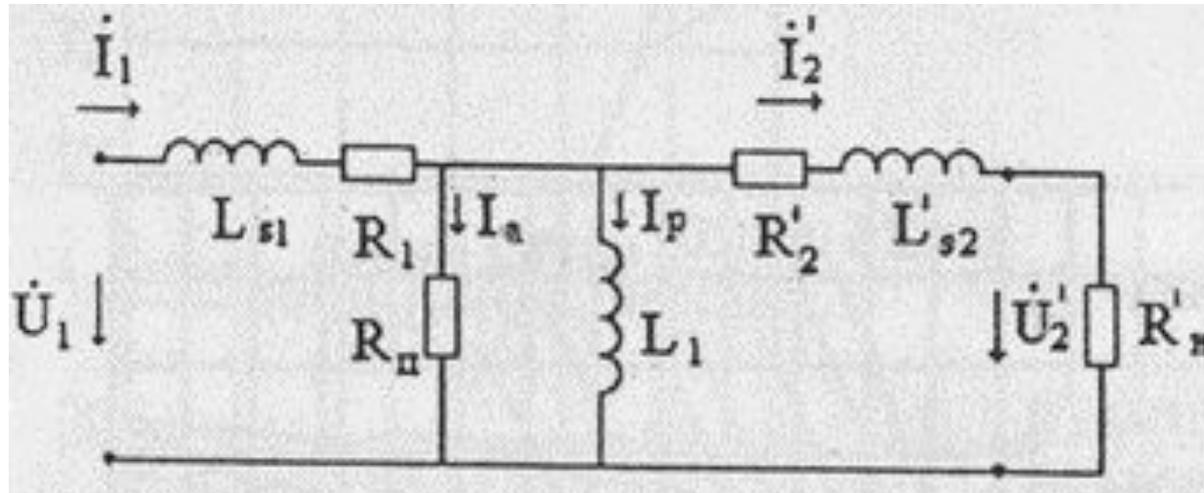
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

К. п. д. мощных стационарных трансформаторов бывает до 99%.  
К. п. д. маломощных трансформаторов, применяемых в аппаратуре связи принимается за 80%.

Ориентировочные средние значения КПД трансформаторов

$P_{\text{вых.}}$ Вт	До 0,5	0,5—1,5	1,5—4	4—10	10—30	30—100	100— 1000	Более 1000
$\eta$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,9	0,9— 0,95	0,95— 0,98

# Схема замещения трансформаторов



$$L_1 = 12,6 \mu\text{с} W_1^2 S_c \cdot 10^{-3} / l_c$$

где  $\mu_c$  - магнитная проницаемость сердечника, зависящая от величины индукции  $B$ ,

$S_c$  - площадь поперечного сечения сердечника,  $\text{см}^2$

$l_c$  - средняя длина силовой линии в сердечнике,  $\text{см}$ .

*Сопротивление  $R_{\pi}$  учитывает потери в сердечнике на вихревые токи и перемагничивание.*

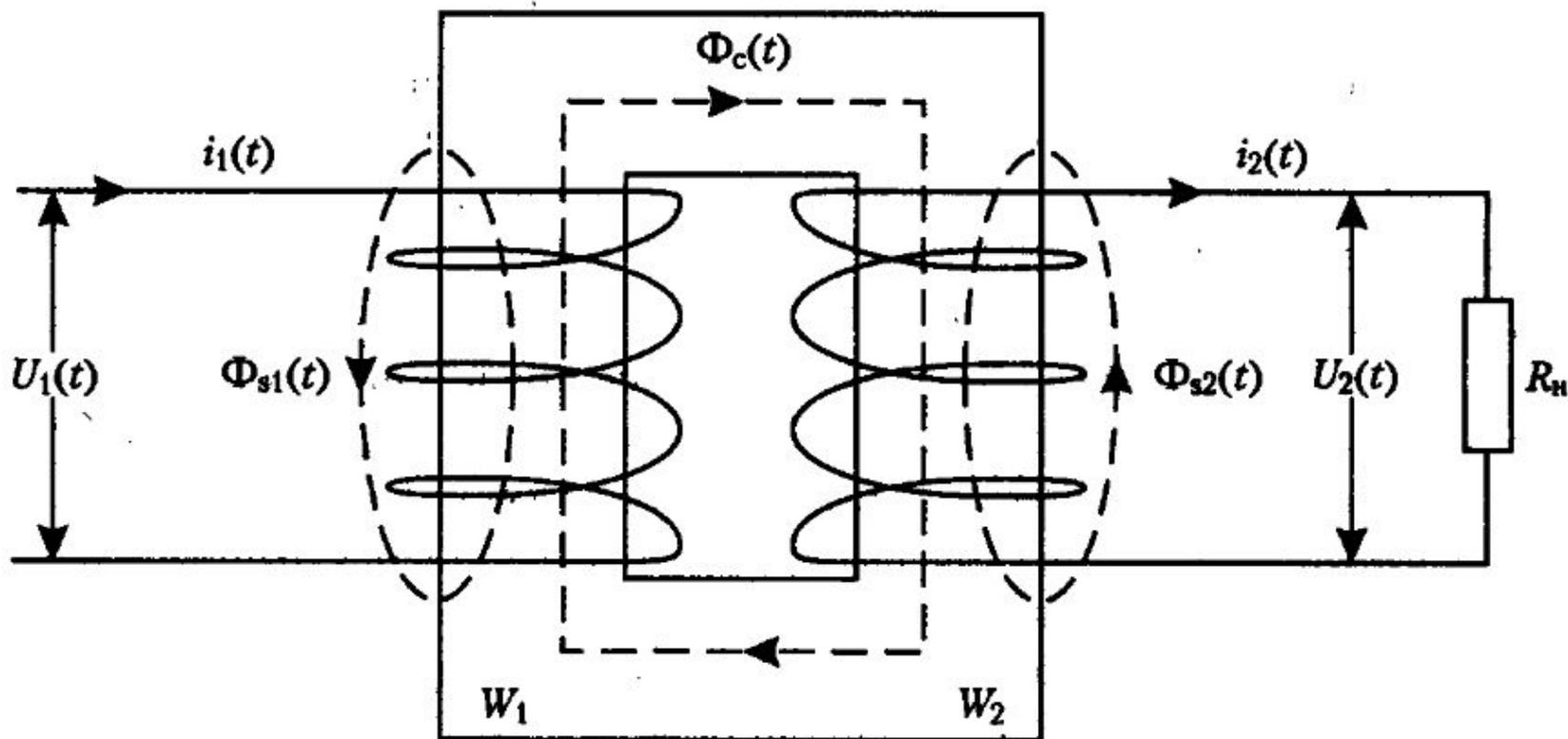
*$L_s$  – индуктивность рассеяния.*

# Поток рассеяния

Незначительная часть потока, создаваемого током  $i_1(t)$ , замыкается не через магнитопровод, а через воздух.

Этот поток называется потоком рассеяния  $\Phi_{s1}(t)$ , точно также существует поток рассеяния вторичной обмотки  $\Phi_{s2}(t)$

В правильно сконструированном трансформаторе потоки рассеяния ничтожно малы и ими можно пренебречь.



# Потери в трансформаторах

Под потерями в трансформаторе понимается мощность  $P_c$ , затрачиваемая на перемагничивание и вихревые токи в сердечнике, и мощность  $P_m$  затрачиваемая на нагрев обмоток.

***Потери на вихревые токи*** зависят от удельного сопротивления материала сердечника и от частоты магнитного поля.

Для уменьшения потерь, для сердечников применяют специальные трансформаторные стали с большим удельным сопротивлением. Кроме того сердечники изготавливают из тонких листов, изолированных друг от друга.

## **Потери на перемагничивание** (гистерезис)

зависят от максимальной индукции в сердечнике: чем больше индукция, тем больше площадь петли гистерезиса и тем больше потери.

Обычно при расчетах потери на перемагничивание и вихревые токи не разделяют и свойства материала оценивают удельными потерями  $P_{\text{суд}}$ , т. е. потерями, отнесенными к 1 кг материала:

$$P_{\text{суд}} = a B_m^2$$

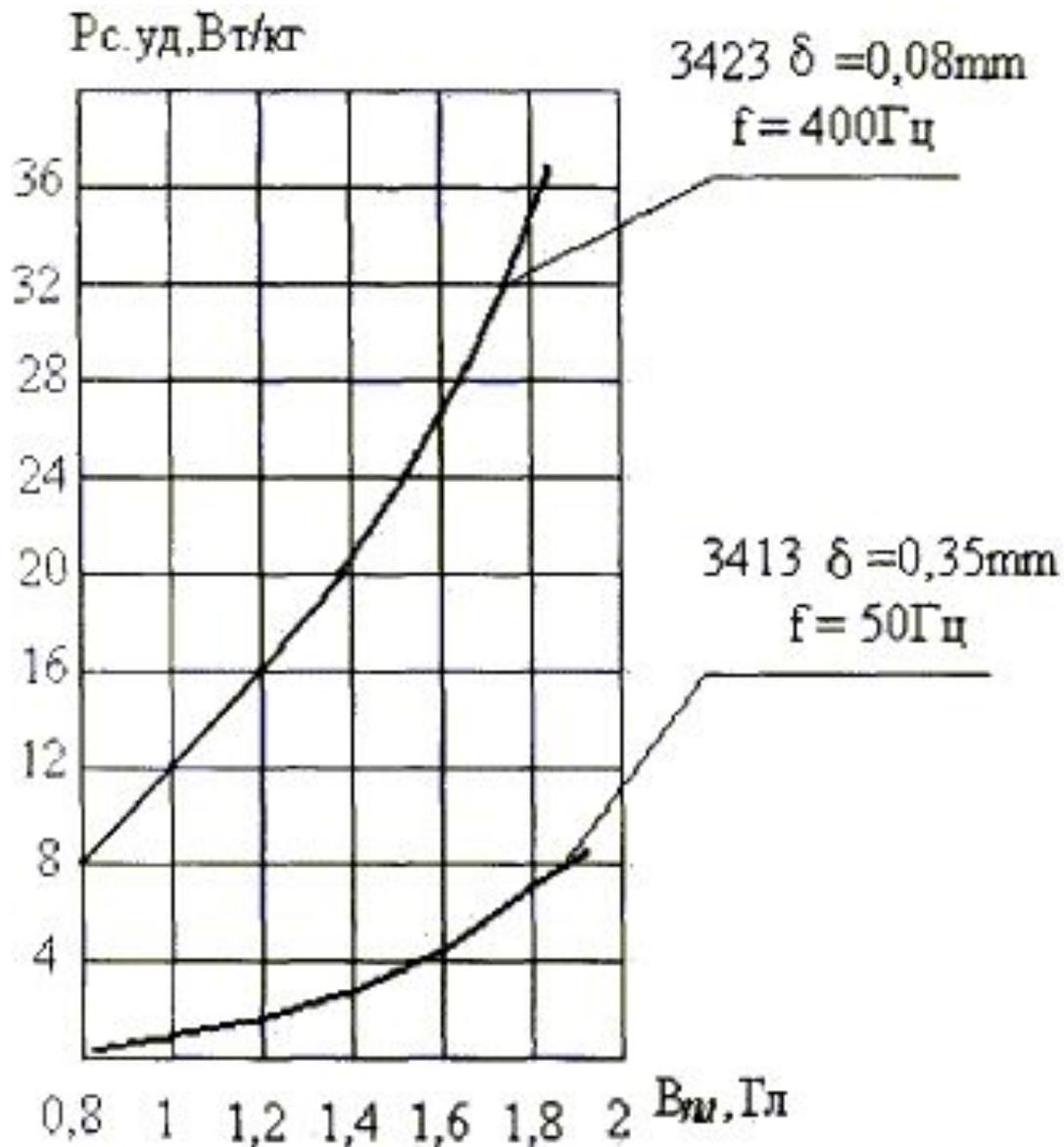
где  $a$  - эмпирический коэффициент;  $z = 2-3$ .

$$B_m = \frac{2,24 U_1}{f S_c W_1} \cdot 10^3$$

Потери в сердечнике зависят от массы сердечника  $G_c$ :

$$P_c = P_{c.уд.} \cdot G_c$$

$$P_{c.суд} = a B_m^2$$

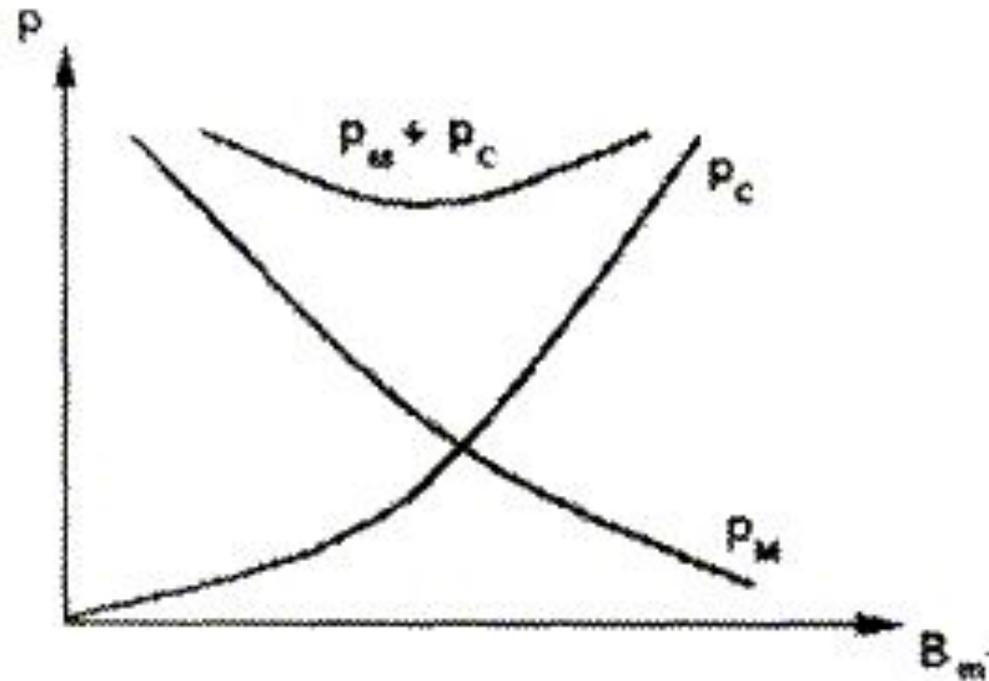


**Потери на нагрев обмоток** определяются соотношением

$$P_{\text{м}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = \frac{I_1^2 \rho l_1}{S_{\text{п1}}} + \frac{I_2^2 \rho l_2}{S_{\text{п2}}}$$

с ростом индукции  $B_m$  потери в сердечнике возрастают, а потери в меди уменьшаются, следует, что существует такое значение индукции, при котором суммарные потери в трансформаторе минимальны

$$P_{\text{м}} \sim \frac{1}{B_m^2}$$



## ***Расчет трансформатора***

Значение магнитной индукции зависит от свойств материала сердечника, частоты подводимого напряжения и ряда других причин (мощности трансформатора, размещения на нем обмоток и т. д.). В таблицах приведены полученные экспериментально оптимальные значения индукции, которыми руководствуются при расчете трансформаторов.

Расчет трансформатора в общем случае представляет задачу, в которой число неизвестных больше числа связывающих их уравнений. Поэтому приходится пользоваться некоторыми эмпирическими исходными величинами, полученными на основе ранее спроектированных трансформаторов.



Спасибо за внимание!

