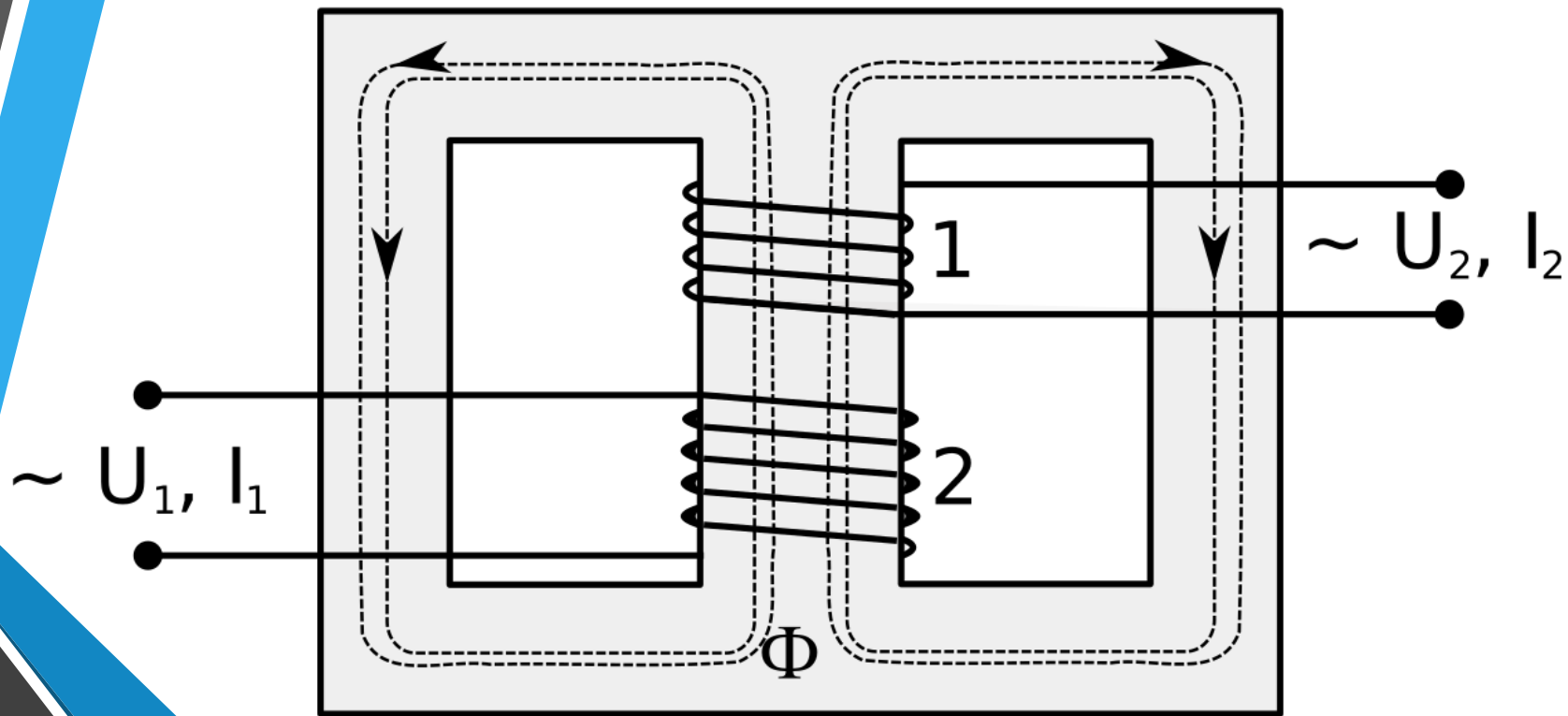


Трансформаторы



Разработал: к.т.н., доцент Пузаков А.В.
кафедра ТЭРА, ОГУ

Содержание раздела

1. Основные величины магнитного поля
2. Кривая намагничивания
3. Потери в магнитопроводе
4. Устройство трансформатора
5. Принцип действия трансформатора
6. Режимы работы трансформатора
7. Энергетическая диаграмма трансформатора
8. Характеристики трансформатора
9. Трехфазные трансформаторы
10. Специальные трансформаторы
11. Заключение
12. Вопросы для самоконтроля
13. Литература по разделу

Основные величины магнитного поля

Магнитное состояние любой точки среды определяется вектором напряженности магнитного поля \mathbf{H} и вектором магнитной индукции \mathbf{B} , которые совпадают по направлению.

Единица измерения напряженности: ампер на метр [А/м].

Единица измерения магнитной индукции: тесла [Тл]

Индукция и напряженность магнитного поля связаны соотношением

$$\mathbf{B} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H}$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость, Гн/м;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума (*магнитная постоянная*),

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

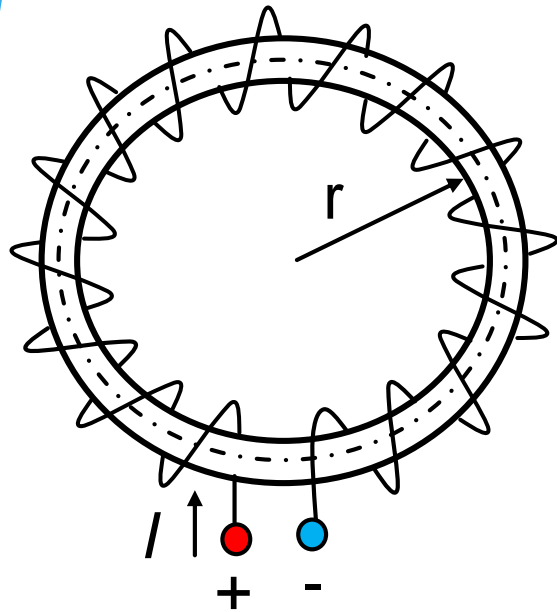
$\mu_r \geq 1$ – парамагнетики (вода, медь, стекло, водород)

$\mu_r \leq 1$ – диамагнетики (воздух, алюминий, платина, вольфрам)

$\mu_r \gg 1$ – ферромагнетики (железо, никель, кобальт, сталь, ферриты)

Применение ферромагнитных материалов для изготовления магнитопроводов позволяет усилить магнитное поле

Кривая намагничивания

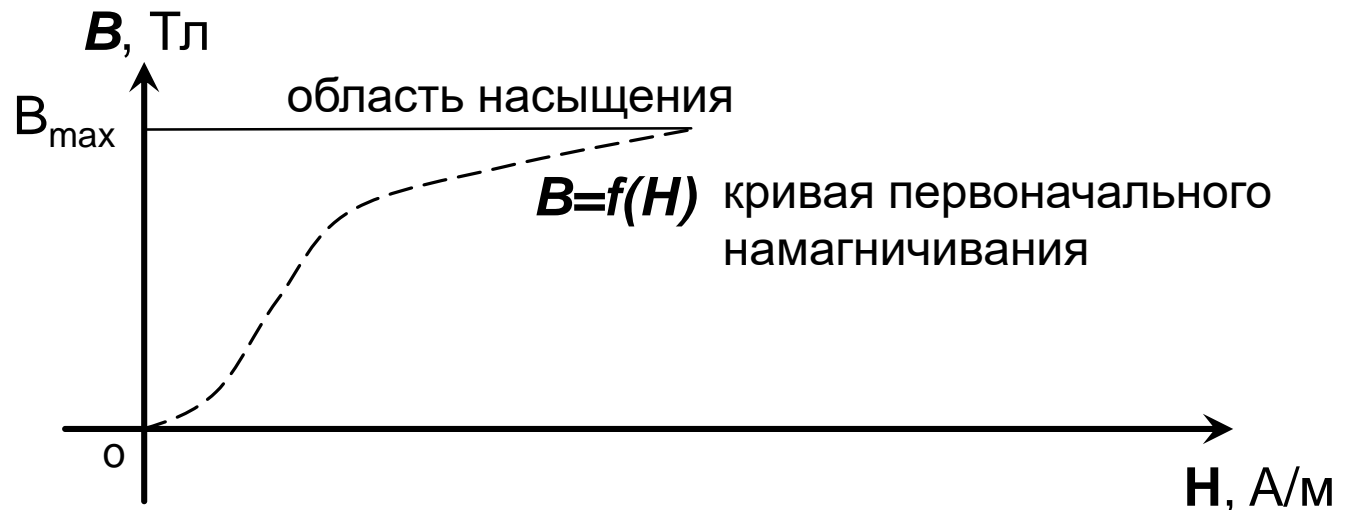


Свойства ферромагнитных материалов изучают на образце с однородным магнитным полем (тонкостенный тороид).

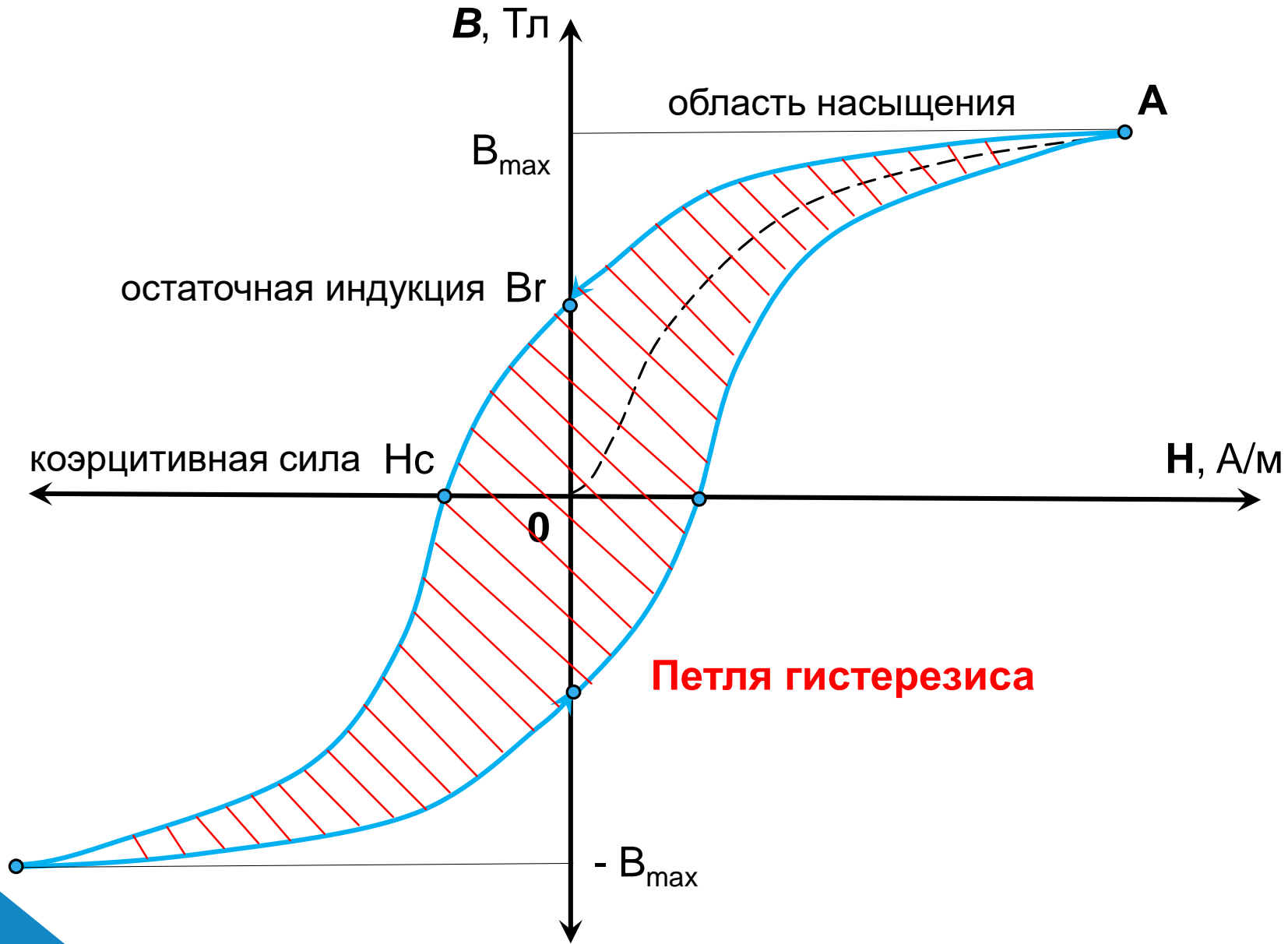
Предположим, что ферромагнитный материал полностью размагничен и тока в обмотке нет.

Если увеличивать ток I в обмотке, то в ферромагнитном материале возникнет магнитное поле, напряженность которого, согласно закону полного тока

$$H = I \cdot w / 2\pi \cdot r$$



Кривая перемагничивания



Потери в магнитопроводе

В магнитопроводе возникает два вида потерь энергии:

- потери на гистерезис
- потери на вихревые токи (токи Фуко)

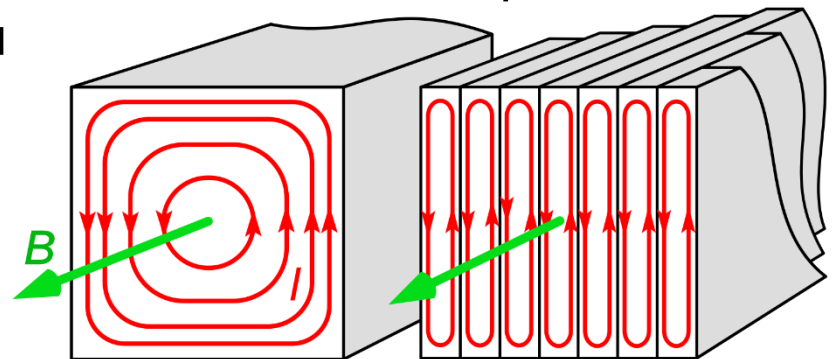
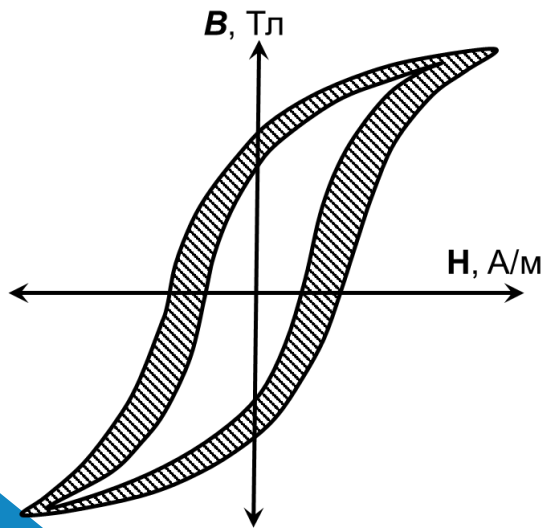
Мощность потерь на гистерезис пропорциональна площади статической петли гистерезиса

$$P_{\Gamma} = \sigma_{\Gamma} \cdot f \cdot B_m^n \cdot G$$

Мощность потерь вихревые токи пропорциональна площади *динамической* петли гистерезиса (штриховка)

$$P_{\text{В}} = \sigma_{\text{В}} \cdot f^2 \cdot \Upsilon \cdot B_m^2 \cdot G$$

Мощность потерь уменьшают снижением толщины листов магнитопровода и повышением удельного электрического сопротивления Υ за счет легирования кремнием

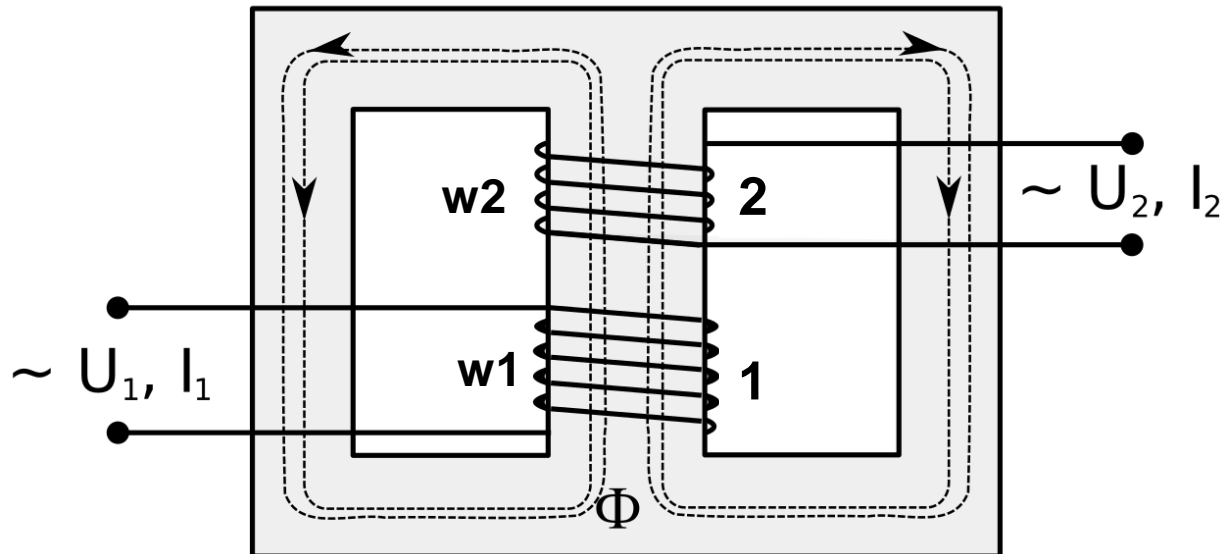
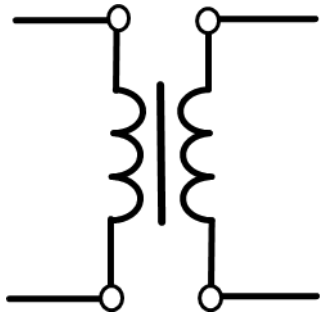


Устройство трансформатора

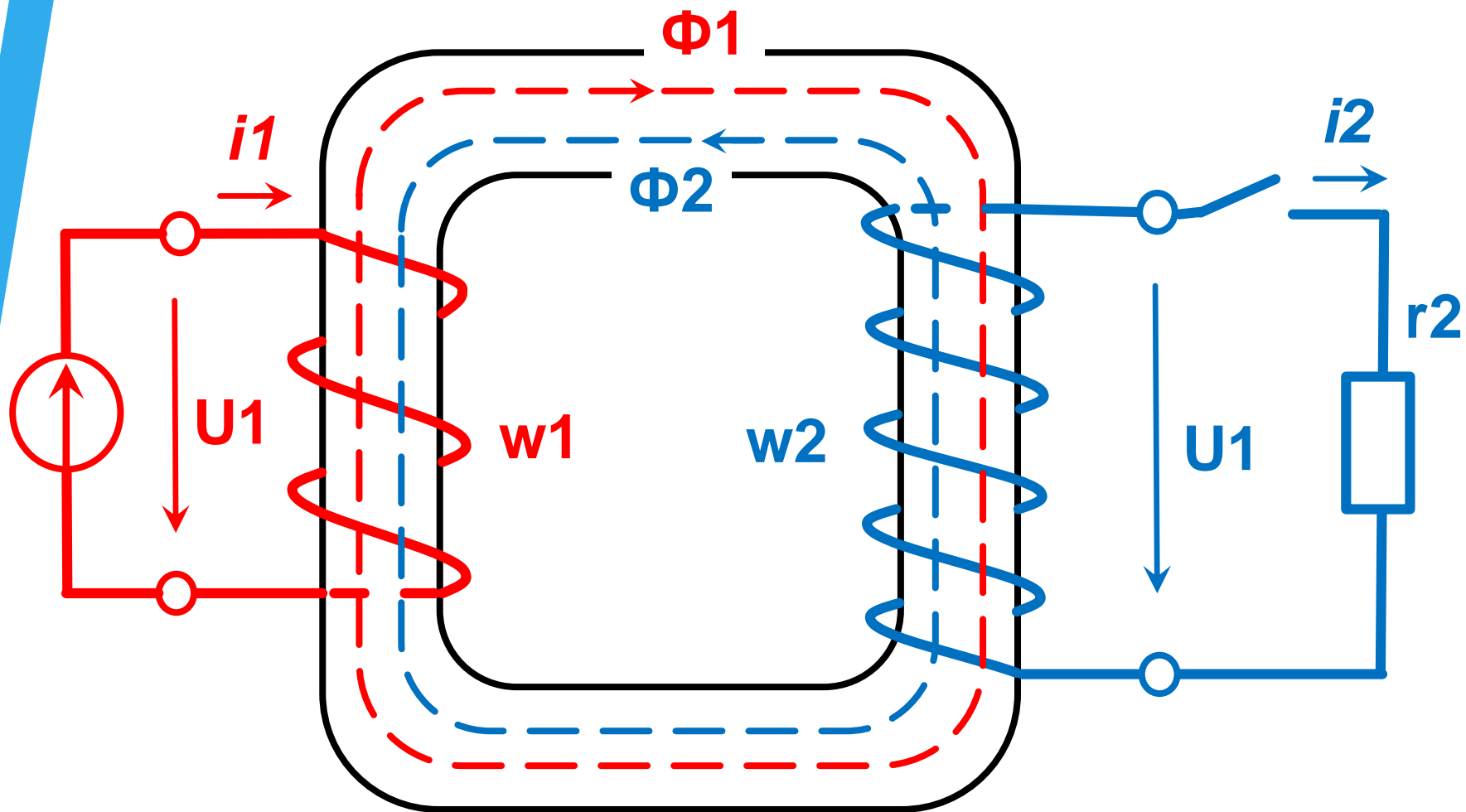
Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования величины напряжения без изменения частоты.

Трансформатор состоит из магнитопровода, первичной и вторичной обмоток. Магнитопровод, служащий для усиления индуктивной связи собирается из изолированных листов электротехнической стали.

Обмотка, присоединенная к источнику питания называется **первичной**. Все параметры, относящиеся в этой обмотке имеют индекс 1 (U_1, I_1, w_1). Обмотка, к которой подключается приемник называется **вторичной** (индекс 2).



Принцип действия трансформатора



Коэффициент трансформации

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} W_1 f \Phi_m$$

$$n_{12} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Режимы работы трансформатора

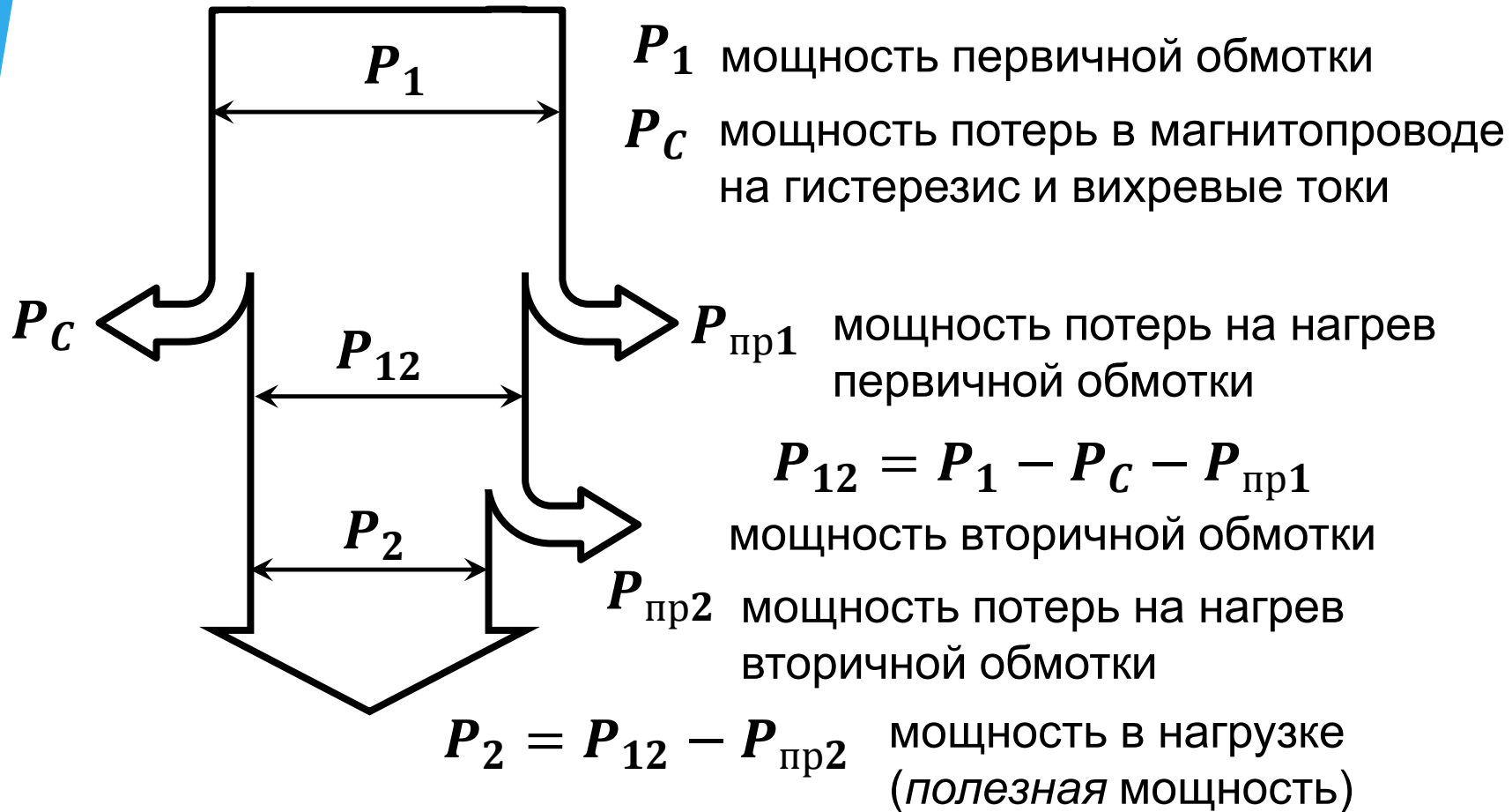
Номинальный режим. Соответствует номинальным значениям тока и напряжения первичной обмотки трансформатора.

Рабочий режим. В этом режиме напряжение первичной обмотки близко к номинальному, а ток определяется нагрузкой трансформатора.

Режим холостого хода. Режим ненагруженного трансформатора, при котором цепь вторичной обмотке разомкнута или замкнута на вольтметр. Служит для определения коэффициента трансформации и мощности потерь в магнитопроводе.

Режим короткого замыкания. Режим, при котором вторичная обмотка трансформатора короткозамкнута, или замкнута на амперметр. Служит для определения мощности потерь в проводах.

Энергетическая диаграмма трансформатора



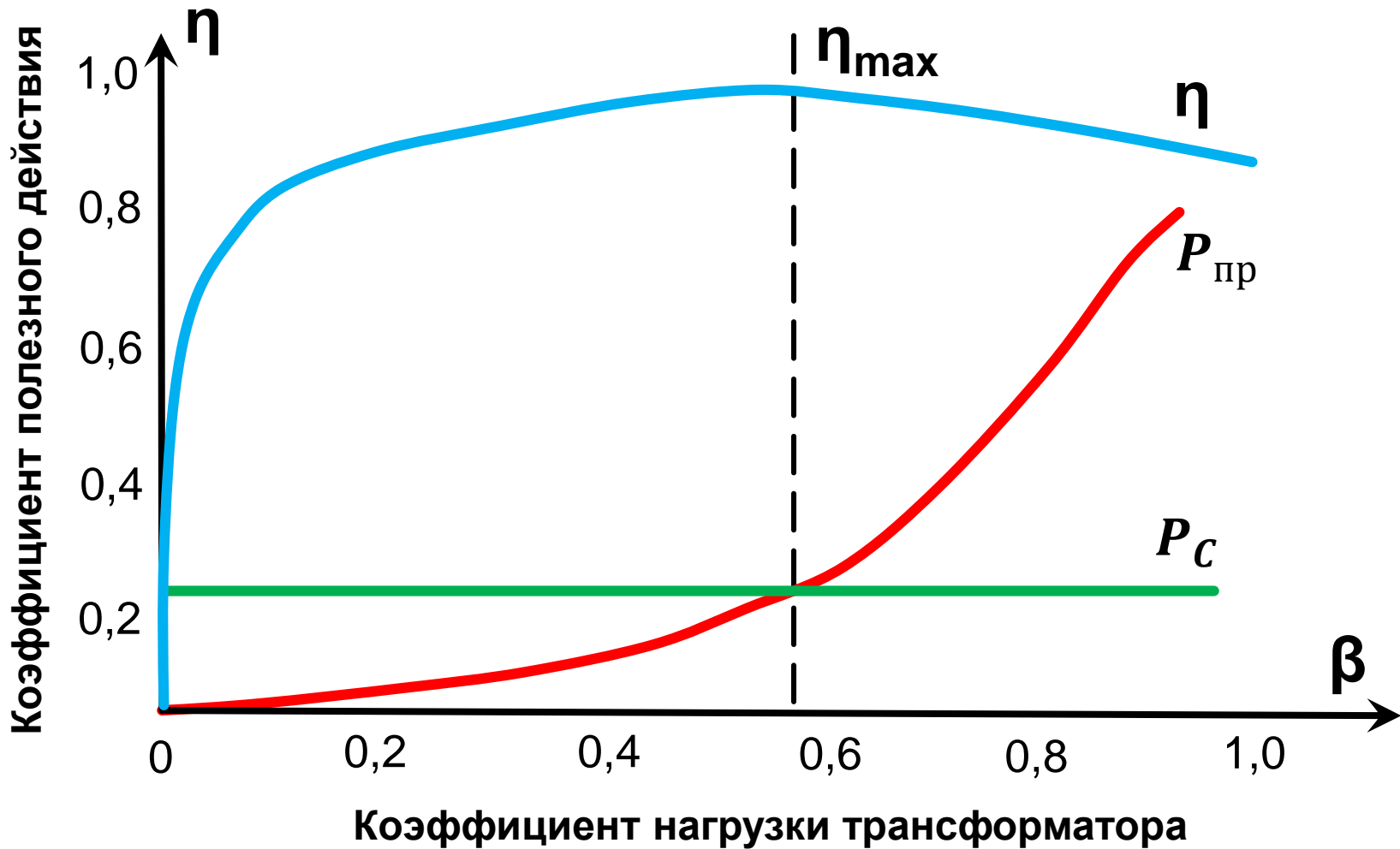
коэффициент нагрузки

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1\text{НОМ}}}$$

$$S_{\text{НОМ}} = U_2 I_{2\text{НОМ}}$$

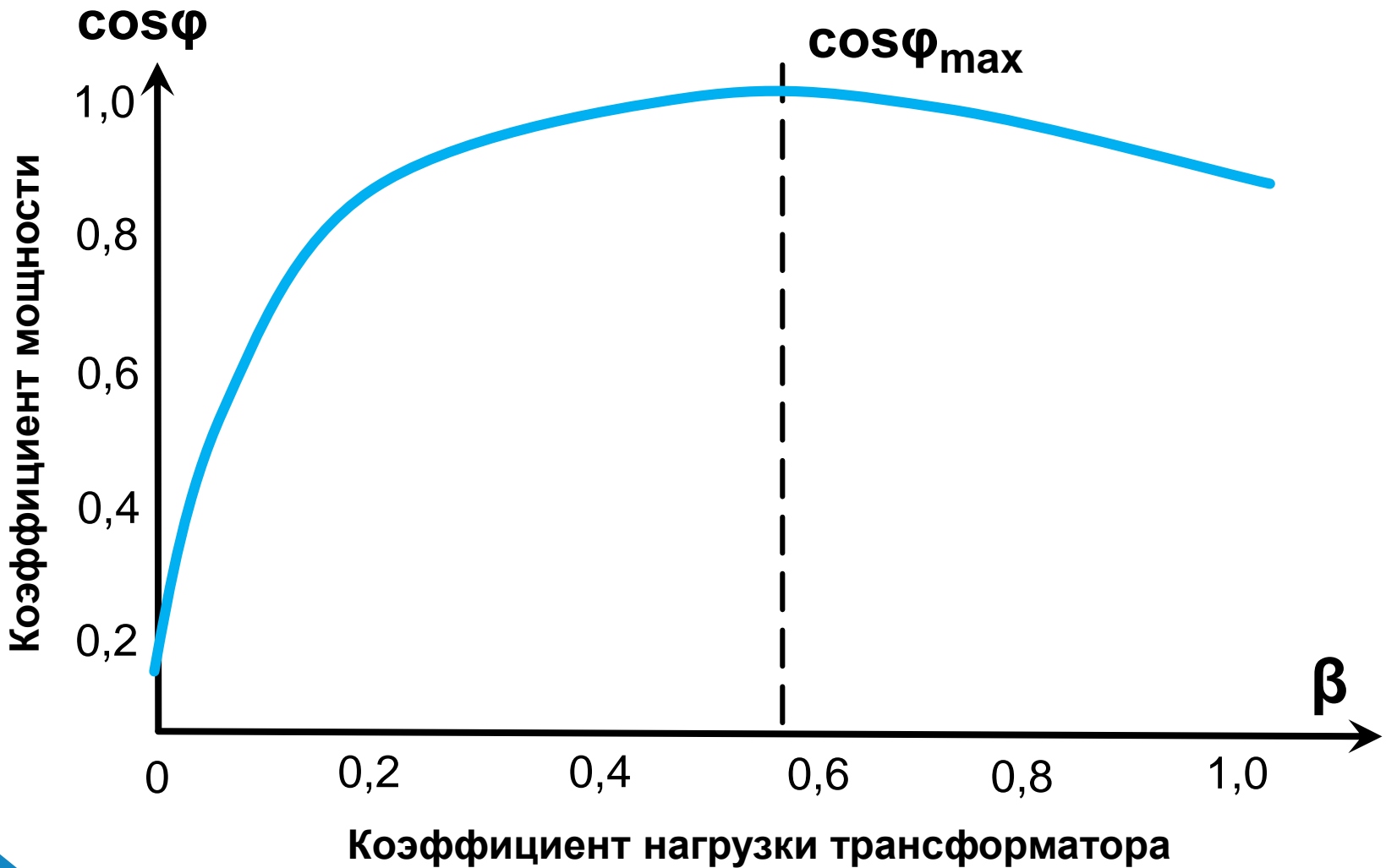
$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos \phi_2 = \beta S_{\text{НОМ}} \cos \phi_2$$

Характеристики трансформатора



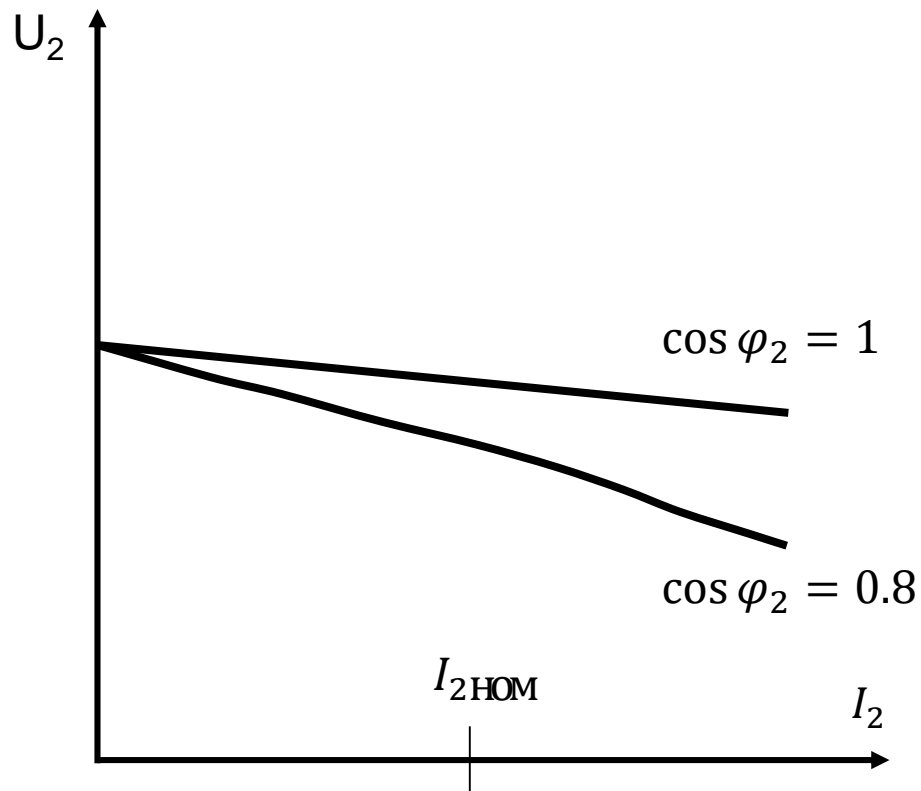
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{пр}} + P_c} = \frac{\beta \cdot S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot P_{\text{к}} + P_c}$$

Характеристики трансформатора



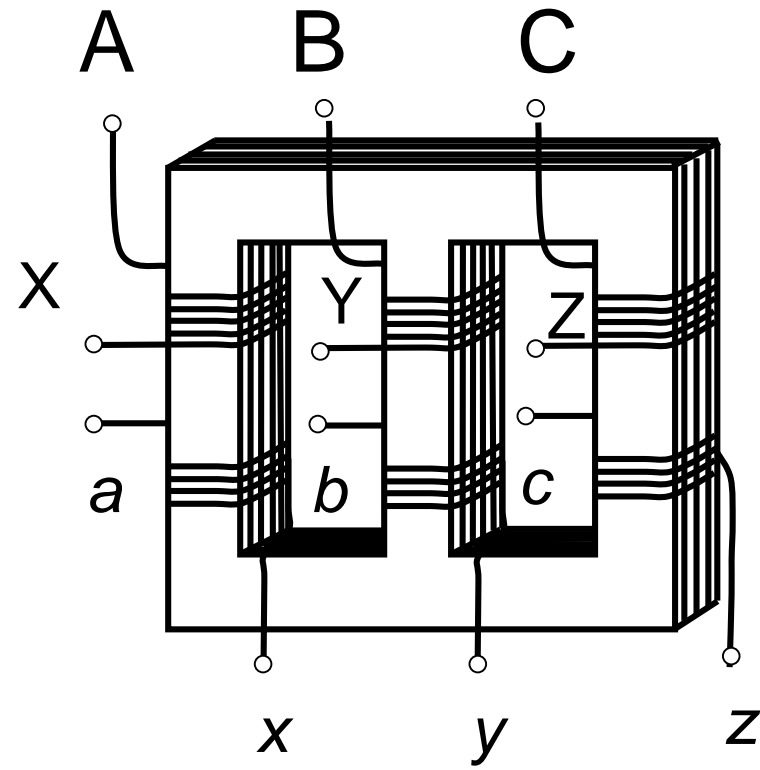
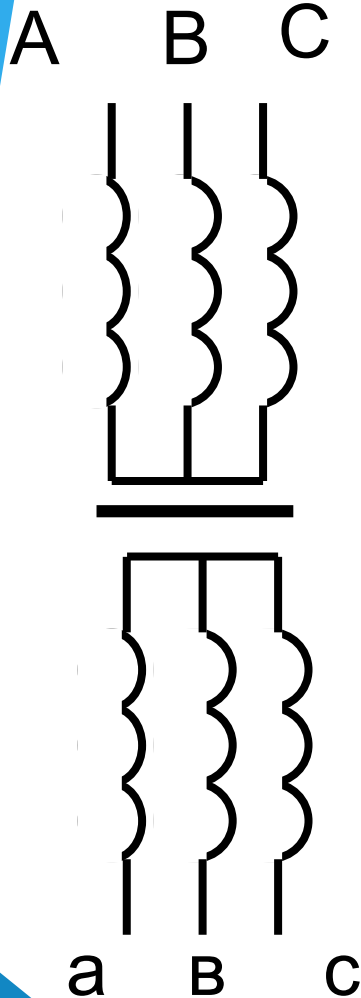
Характеристики трансформатора

Внешняя характеристика трансформатора $U_2=f(I_2)$ зависимость вторичного напряжения от тока нагрузки при фиксированном напряжении U_1 и постоянном коэффициенте мощности приемника $\cos\varphi_2$.



Трехфазные трансформаторы

При изготовлении трехфазных трансформаторов на каждый стержень его сердечника навивают по две обмотки: низкого напряжения, а поверх нее - высокого напряжения.

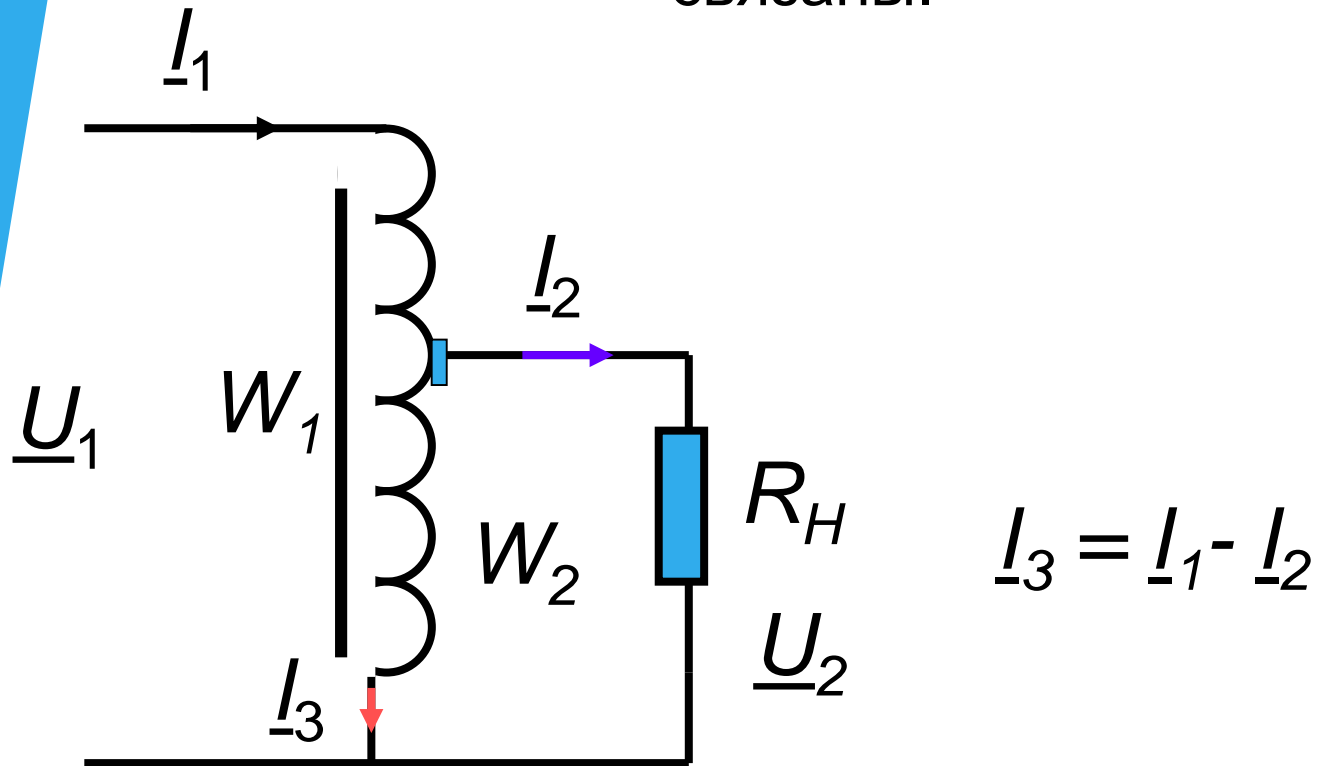


К специальным трансформаторам относятся: автотрансформаторы, измерительные трансформаторы, сварочные трансформаторы и т.д.

- Автотрансформаторы предназначены для регулирования напряжения в сетях
- Измерительные трансформаторы служат для включения в сеть измерительных приборов, элементов автоматики и т.д.
- Сварочные трансформаторы используются в технологиях соединения или разъединения металлов и др.

Автотрансформаторы

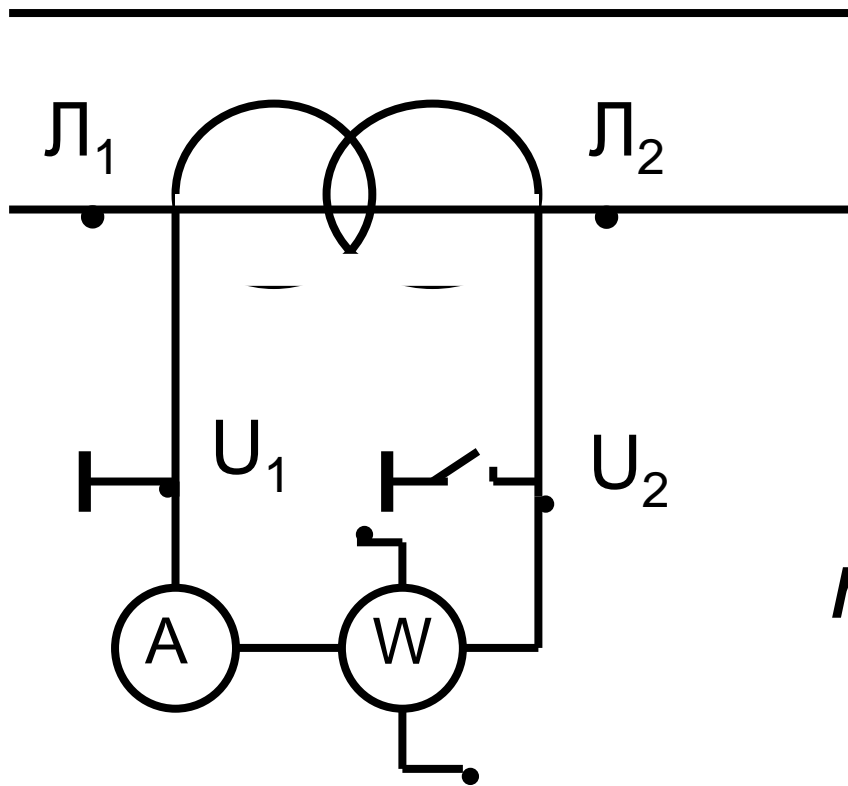
Первичная и вторичная обмотки автотрансформатора гальванически связаны.



$$n = W_1 / W_2 \approx \underline{I}_2 / \underline{I}_1 \approx \underline{U}_1 / \underline{U}_2$$

Трансформатор тока

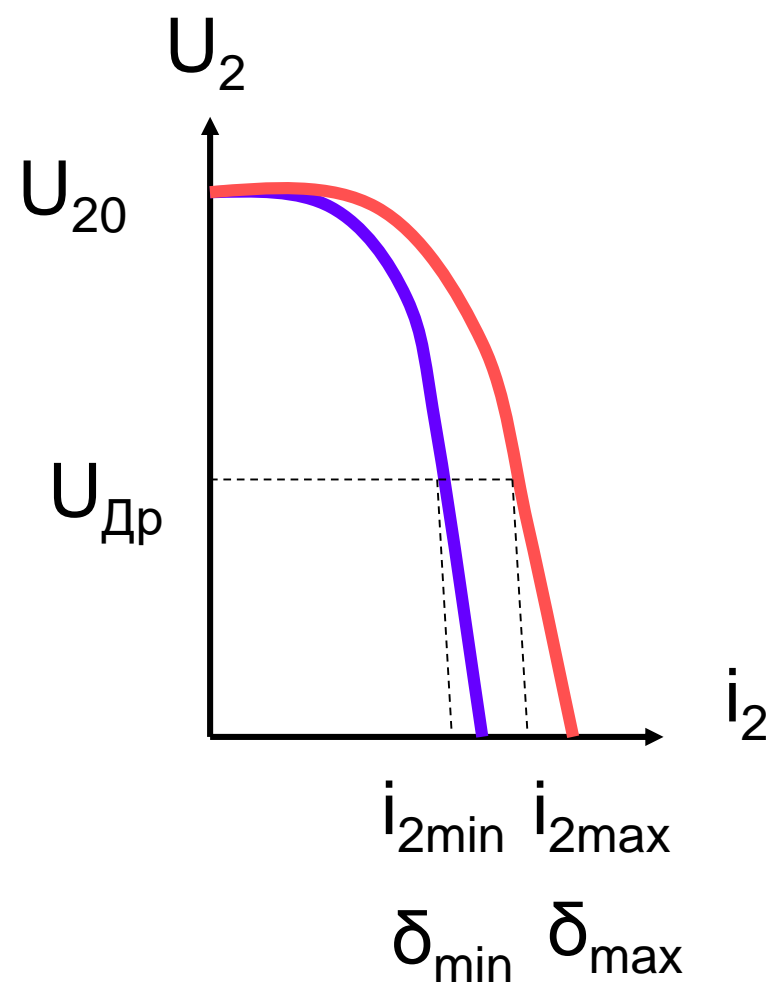
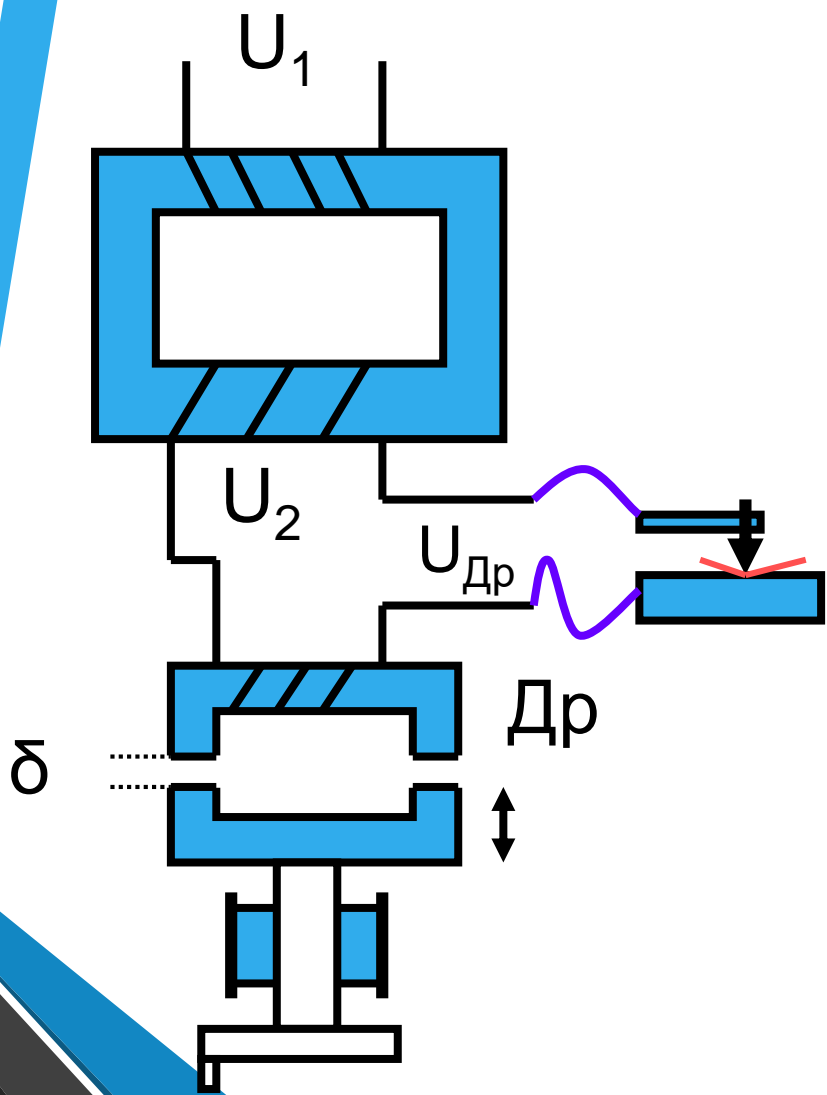
Трансформатор тока - это повышающий трансформатор, работающий в режиме короткого замыкания



$$n = I_1 / I_2 \longrightarrow I_1 = n I_2$$

$$I_2 \leq 5 \text{ A}$$

Сварочный трансформатор



Заключение

Магнитное состояние любой точки среды определяется вектором напряженности магнитного поля H и вектором магнитной индукции B , которые совпадают по направлению.

По магнитной проницаемости все вещества делятся на парамагнетики, диамагнетики и ферромагнетики, способные значительно усиливать магнитное поле и нашедшие применение в качестве магнитопроводов электротехнических устройств.

Кривые намагничивания и размагничивания ферромагнитных материалов не совпадают, что обусловлено инерцией магнитных доменов. Область, заключенная между кривыми получила название петли гистерезиса.

В магнитопроводах возникает два вида потерь энергии: на гистерезис и вихревые токи. Для уменьшения потерь магнитопроводы выполняют шихтованными – набранными из пластин стали с повышенным содержанием кремния.

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования величины напряжения без изменения частоты.

Заключение

Трансформатор состоит из магнитопровода, первичной и вторичной обмоток. Магнитопровод, служащий для усиления индуктивной связи собирается из изолированных листов электротехнической стали.

Если по первичной обмотке трансформатора попустить ток, то магнитодвижущая сила вызовет появление магнитного поля, связанного как с первичной, так и со вторичной обмоткой. Переменное магнитное поле наведет в витках вторичной обмотки электродвижущую силу, а включение в эту цепь приемника приведет к появлению тока.

В работе трансформатора принято выделять режимы холостого хода и короткого замыкания, служащие для определения параметров трансформатора.

Важным эксплуатационным параметром трансформатора является коэффициент загрузки, равный отношению текущей силы тока к ее номинальному значению. Наибольшей эффективности трансформатор достигает при коэффициенте загрузки равном 0,6-0,7.

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните назначение трансформатора.
2. Объясните принцип работы однофазного трансформатора.
3. Как и с какой целью проводится опыт холостого хода трансформатора?
4. Объясните, почему коэффициент трансформации трансформатора определяется из опыта холостого хода.
5. Почему потери мощности в магнитопроводе трансформатора не зависят от тока нагрузки?
6. Как и с какой целью проводится опыт короткого замыкания трансформатора?
7. Почему при опыте короткого замыкания можно пренебречь потерями мощности в магнитопроводе трансформатора?
8. Почему при изменении тока во вторичной обмотке трансформатора изменяется ток и в первичной его обмотке?
9. Какое влияние оказывает характер нагрузки на внешнюю характеристику трансформатора?
10. Почему с возрастанием тока нагрузки энергетические показатели трансформатора вначале возрастают, а затем снижаются?

Вопросы для самоконтроля

11. Что произойдет с трансформатором, если включить его на постоянное напряжение?
12. Какие функции выполняет магнитопровод в трансформаторе?
13. Почему магнитопровод выполняют из ферромагнитного материала, а не из алюминия или пластмасс?
14. Почему магнитопровод выполняют из электротехнической стали, а не из обычной конструкционной?
15. Почему высокочастотные трансформаторы могут быть выполнены без магнитопровода?
16. Что произойдет с включенным трансформатором, если у него разомкнуть магнитопровод?
17. Для чего магнитопровод собирают из отдельных изолированных пластин электротехнической стали?
18. Чем определяется величина напряжения на выходе трансформатора?
19. Как изменятся напряжения, токи и мощности, если при неизменной нагрузке уменьшить число витков вторичной обмотки?
20. Как взаимосвязаны токи первичной и вторичной обмоток?

Вопросы для самоконтроля

21. Что произойдет, если при подключении трансформатора перепутать первичную и вторичную обмотки?
22. Почему трансформатор проектируют так, что у него напряжение вторичной обмотки в режиме ХХ на 5% больше номинального напряжения его нагрузки?
23. Почему трансформатор нежелательно держать включенным в сеть в режиме ХХ?
24. Какие потери мощности и где имеют место в трансформаторе и как они зависят от величины нагрузки?
25. Почему в режиме ХХ магнитопровод трансформатора нагревается, а обмотка нет?
26. Почему в опыте КЗ обмотка трансформатора нагревается, а магнитопровод нет?
27. Почему трансформаторы обычно эксплуатируются при коэффициенте нагрузки $\beta = 0,5 - 0,8$?
28. В чем преимущества и недостатки автотрансформаторов в сравнении с трансформаторами?
29. Для чего применяются и в чём отличие измерительных трансформаторов от обычных трансформаторов?

1. Касаткин, А.С. Электротехника: учеб. для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
2. Хернер, А. Автомобильная электрика и электроника /А. Хернер, Х-Ю. Риль; перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2013. – 624 с.
3. Wyatt, D. Aircraft Electrical and Electronic Systems / D. Wyatt, M. Tooley. – Second Edition – NY, Routledge, 2018. – 439 p.
4. Bell, J.A. Modern Diesel Technology: Electricity & Electronics / J.A. Bell - Second Edition – NY, Delmar, 2014. – 546 p.