

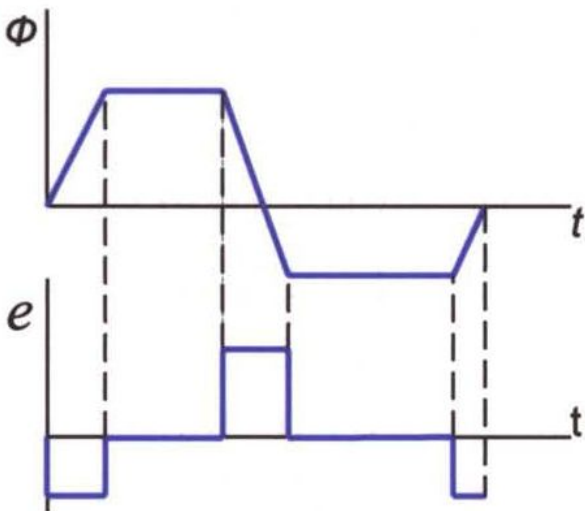
# МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ

# Закон электромагнитной индукции

ЭДС, индуцируемая в проводнике при изменении магнитного потока, равна скорости изменения этого потока

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

- Знак  $-$  говорит о том, что ЭДС стремится ослабить причину, ее вызывающую

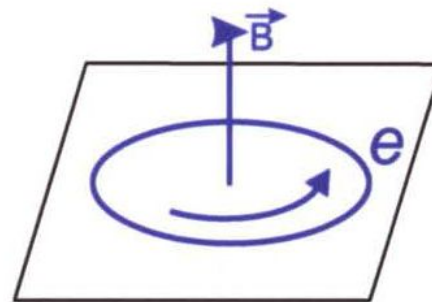


Зависимость ЭДС от изменения магнитного потока

ЭДС, наводимая в обмотке переменным магнитным полем

$$e = - \omega \frac{d\psi}{dt} = - \omega \frac{d\Phi}{dt}, \text{ где}$$

- $\omega$  - число витков обмотки,
- $\psi$  - потокосцепление



Положительное направление наведенной ЭДС определяется по правилу **правоходового винта**.

ЭДС самоиндукции ЭДС, наводимая в контуре при изменении тока в этом же контуре  $\Psi = Li$ , где  $L$  индуктивность

$$e_L = - \frac{d\Psi}{dt} = - L \frac{dI}{dt}$$

## Закон электромагнитной индукции

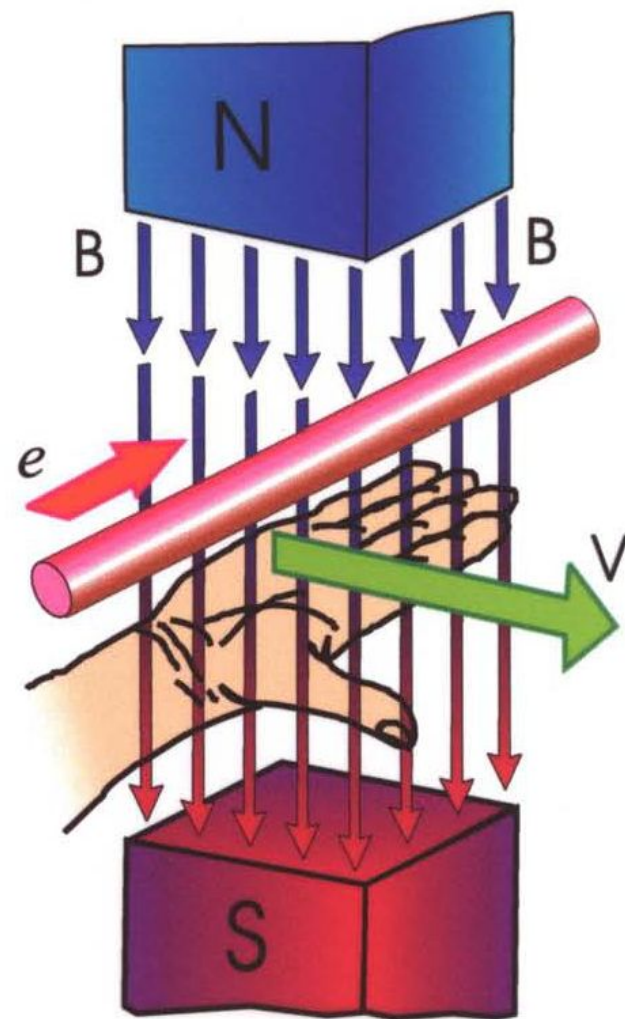
Постоянное магнитное поле может наводить в проводнике ЭДС при движении проводника относительно магнитного поля.

Величина ЭДС

$$e = BlV, \text{ где}$$

$B$  - магнитная индукция поля,  
 $l$  - активная длина проводника,  
 $V$  - скорость перемещения проводника.

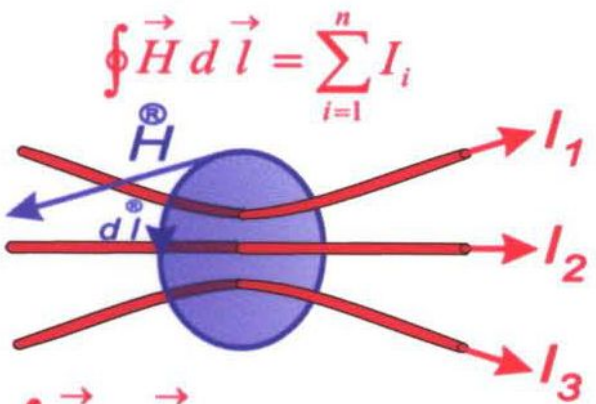
Направление ЭДС



Правило правой руки.

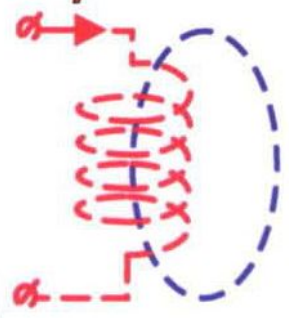
# Закон полного тока

Интервал от вектора напряженности магнитного поля вдоль любого замкнутого контура равен алгебраической сумме токов, охваченных этим контуром.



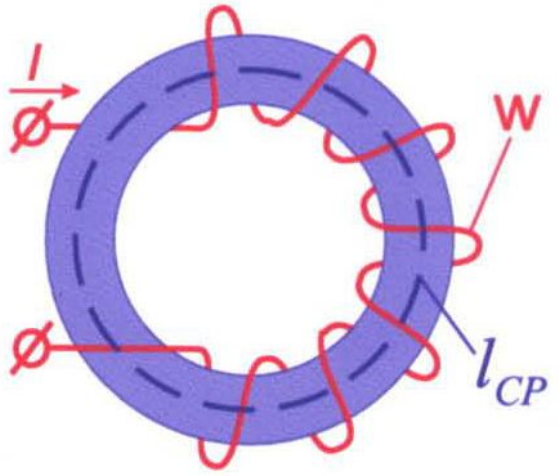
$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i$$

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I_1 + I_2 - I_3$$



Для обмотки

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I\omega$$

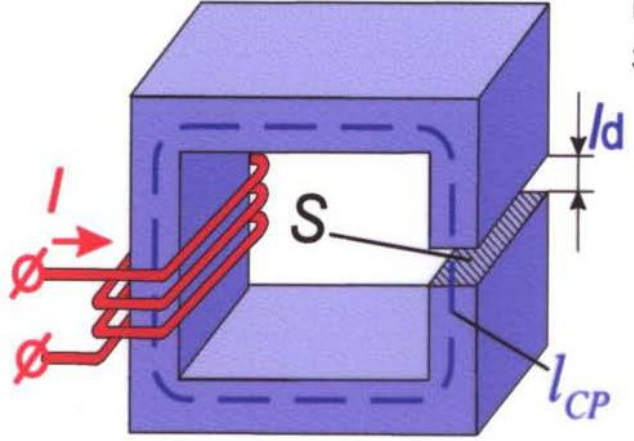


Для однородной магнитной цепи

$$Hl_{CP} = I\omega,$$

где  $l_{CP}$  - длина средней силовой линии

где  $I\omega$  - магнитодвижущая сила (МДС)



Для неоднородной магнитной цепи с воздушным зазором

$$I\omega = Hl + Hd\delta$$

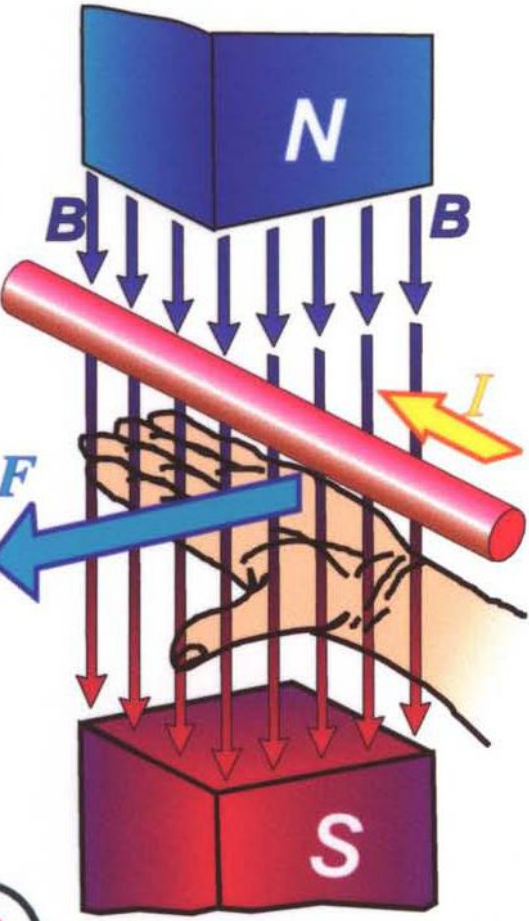
где  $H$  - напряженность магнитного поля в сердечнике,

$Hd$  - напряженность магнитного поля в зазоре

# Механические силы в магнитном поле

В магнитном поле на проводники с током, на заряженные частицы, на ферромагнитные тела действуют механические силы.

На проводнике с током действуют механические силы  $F$ , направление которых зависит от направления тока.



Направление силы определяется правилом левой руки.

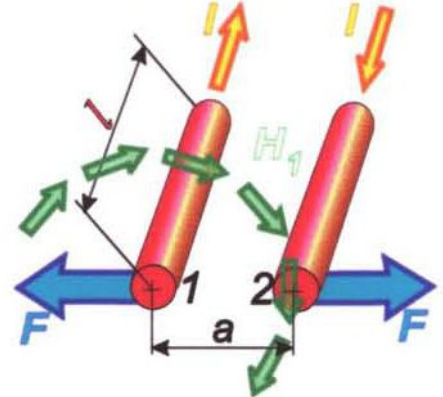
Величина силы

$$F = BIL$$

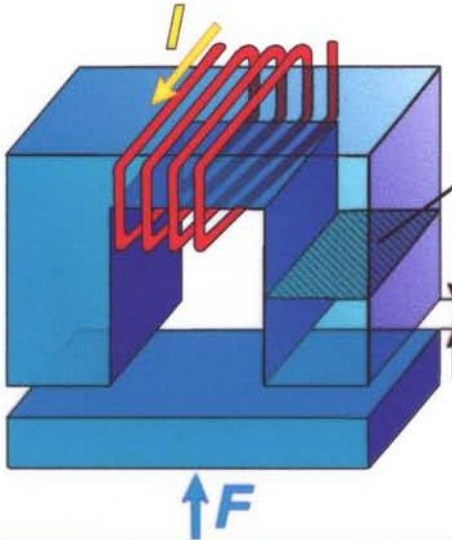
где

$l$  - активная длина проводника,  
 $I$  - ток в проводнике,  
 $B$  - магнитная индукция поля.

Два параллельных проводника с током



Подъемная сила электромагнита



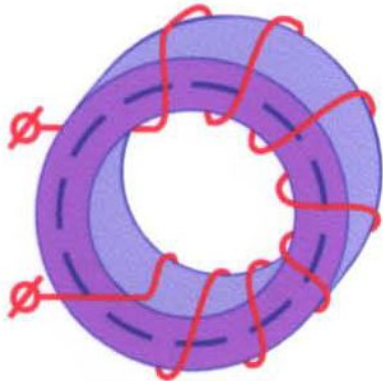
$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} S$$

где

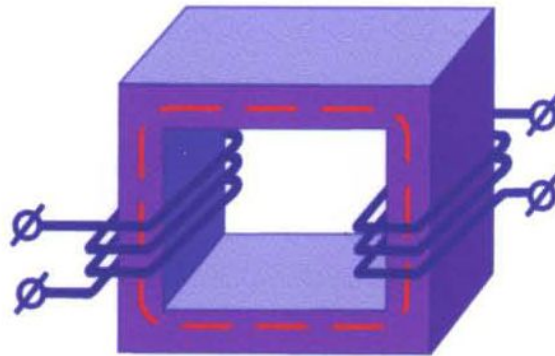
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$   
 $S$  - полное сечение воздушного зазора [м<sup>2</sup>],  
 $B$  - магнитная индукция поля [Т]

# Примеры магнитных цепей

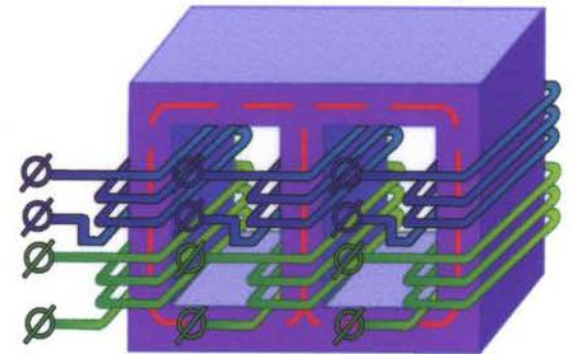
## Однородная магнитная цепь



Катушка с тороидальным сердечником

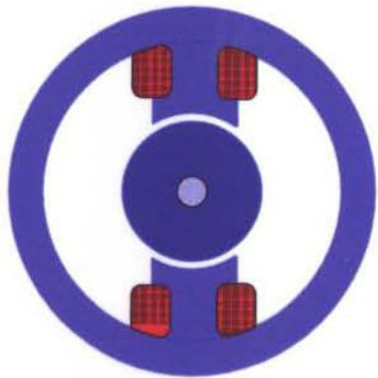


Однофазный трансформатор

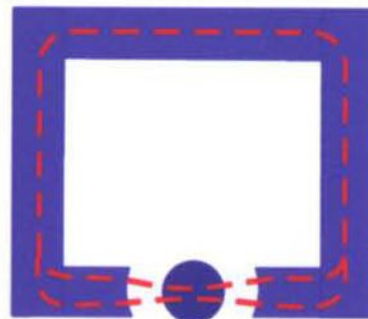


Трехфазный трансформатор

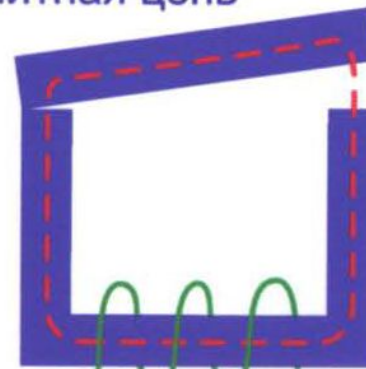
## Неоднородная магнитная цепь



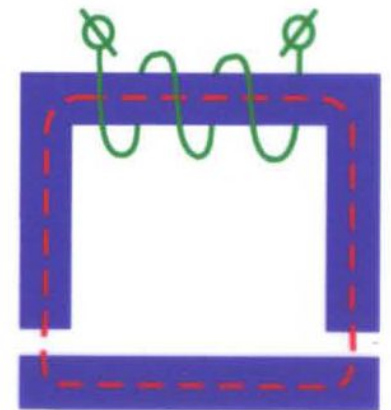
Машина постоянного тока



Магнитоэлектрический измерительный механизм

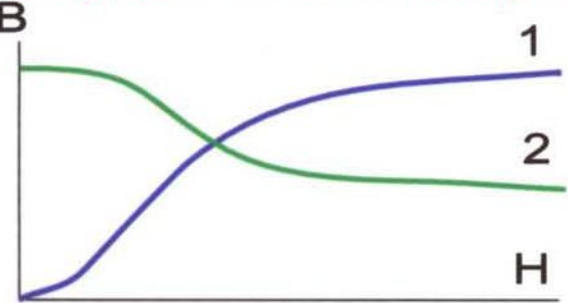


Электромагнитное реле

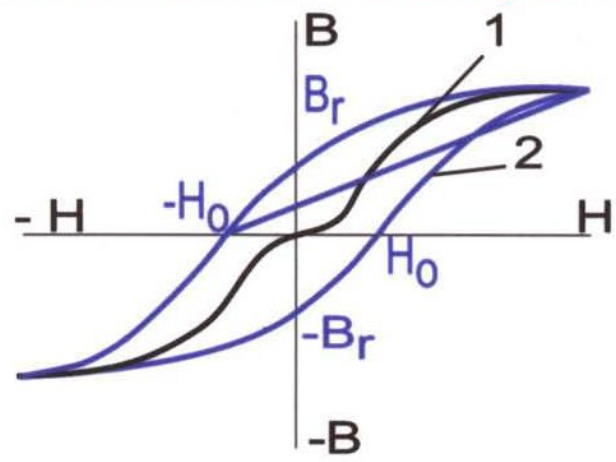


Подъемный электромагнит

# Сердечники электрических машин и аппаратов



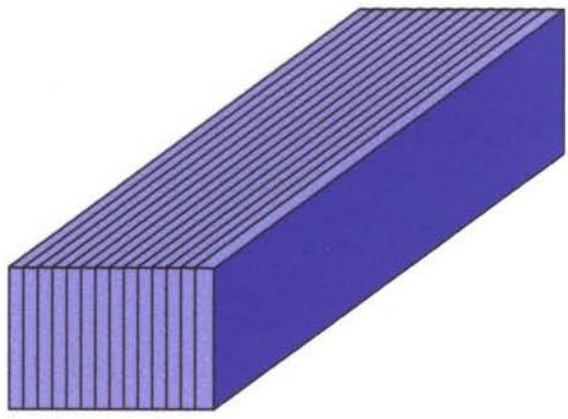
- 1- кривая намагничивания
- 2- зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля



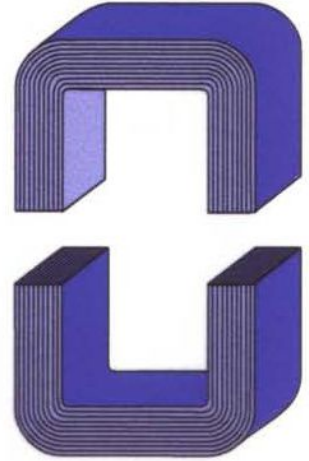
- 1 - основная кривая намагничивания;
- 2 - петля гистерезиса.
- $B_r$  - остаточная магнитная индукция
- $H_0$  - коэрцитивная сила



- 1- петля гистерезиса магнитомягкого материала
- 2- петля гистерезиса магнитотвердого материала



Шихтованный магнитопровод из листовой стали

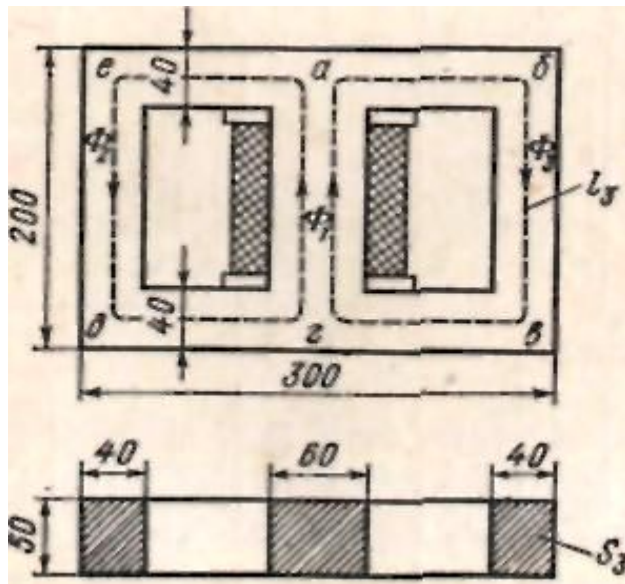


Шихтованный магнитопровод из ленточной стали

# Расчет магнитных цепей

1. Задаются необходимой величиной магнитного потока.
2. Разбивают магнитную цепь на участки, имеющие одинаковое поперечное сечение и однородный материал.
3. Для каждого участка определяют величину магнитной индукции.
4. По кривой намагничивания для данного материала находят для каждого значения магнитной индукции величину – напряженность магнитного поля.
5. Для каждого участка определяют величину необходимой намагничивающей силы (по закону полного тока).





Катушка, имеющая число витков, равное –  $W$ , расположена на среднем стержне магнитопровода, изготовленного из стали определённой марки. Определить ток в катушке, если в крайнем стержне магнитный поток  $\Phi_2 = \Phi_3$ . Рассеивание потока не учитывать. Данные взять из рис. 3, таблица № 3 согласно варианту.

Решение.

1. В данной симметричной цепи можно наметить два одинаковых в магнитном отношении контура:  $a-b-v-g-a$  и  $a-e-d-z-a$ .
2. В каждом из них по два участка:  
 $l_1 = 16$  см;  $S_1 = 6 \cdot 5 = 30$  см<sup>2</sup>;  $l_2 = l_3 = 42$  см;  $S_2 = S_3 = 4 \cdot 5 = 20$  см<sup>2</sup>.
3. Рассматривая один из контуров, решим задачу в порядке, принятом для разветвленной цепи:

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-4}} = 1,0 \text{ Тл.}$$

4. Магнитный поток в среднем стержне в два раза больше, чем в крайних:

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-4}} = 1,33 \text{ Тл.}$$

5. По кривым намагничивания стали 1511 (см. приложение) находим:  $H_2 = 3,0$  А/см;  $H_1 = 8$  А/см.

6. По закону полного тока,

$$F_{\text{мдс}} = I \cdot W = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 8 \cdot 16 + 3 \cdot 42 = 254 \text{ А.}$$

7. Ток в катушке

$$I = F_{\text{мдс}} / W = 254 / 500 = 0,51 \text{ А.}$$

Ответ:  $I = 0,51$  А.

**Дано:**

$W = 500$  витков;

$\Phi_2 = \Phi_3 = 2 \cdot 10^{-3}$  Вб;

$l_1 = 16$  см;

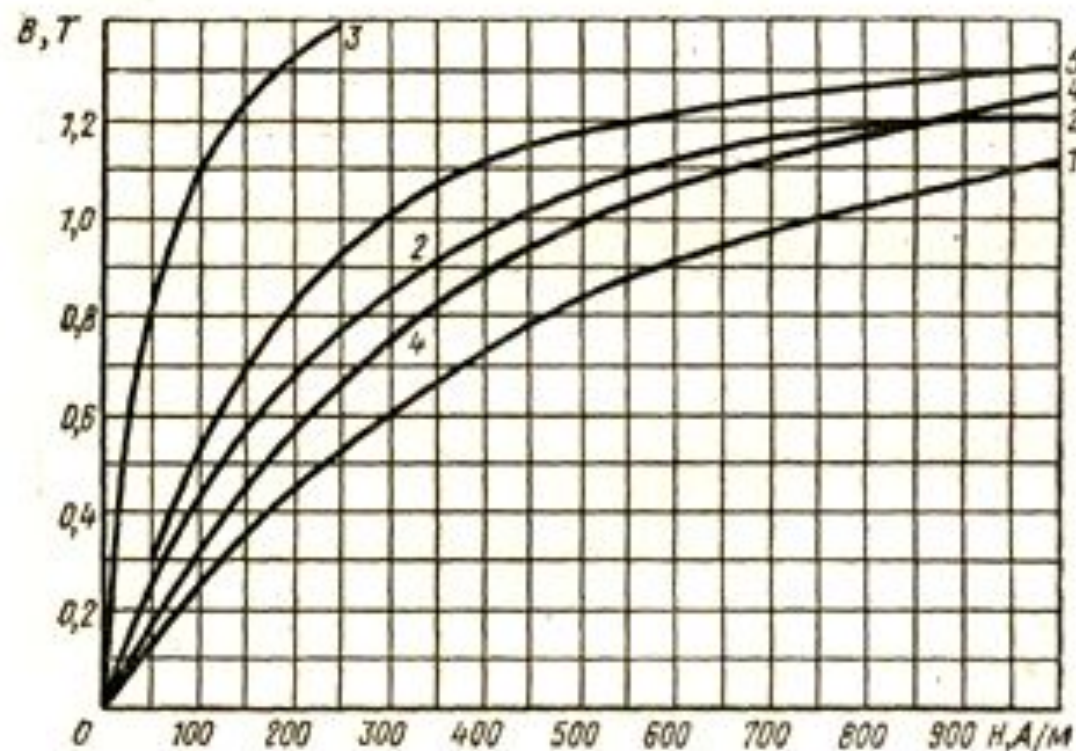
$l_2 = l_3 = 42$  см;

$a = 4$  см;

$b = 5$  см;

$c = 6$  см.

**Определить:  $I$**



Кривая намагничивания

1. Литая сталь
2. Листовая электротехническая сталь Э42 (горячекатаная)
3. Листовая электротехническая сталь Э310 (холоднокатаная)
4. Листовая электротехническая сталь Э12 (горячекатаная)
5. Листовая электротехническая сталь Э31 (горячекатаная)