

# Лекция №6

## Магнитные цепи

© 2020 Томский политехнический университет, ОЭЭ ИШЭ

Лектор: к.т.н., доцент Васильева Ольга Владимировна

# **Законы Кирхгофа для магнитных цепей (НИЭ)**

**Магнитопроводы НИЭ  
образуют магнитные цепи,  
которые предназначены для  
концентрации и усиления  
магнитного потока  $\Phi$**

**Законы Кирхгофа используются  
для определения  $\Phi$  и  $\Psi (i_L)$   
НИЭ**

## Магнитные цепи характеризуются:

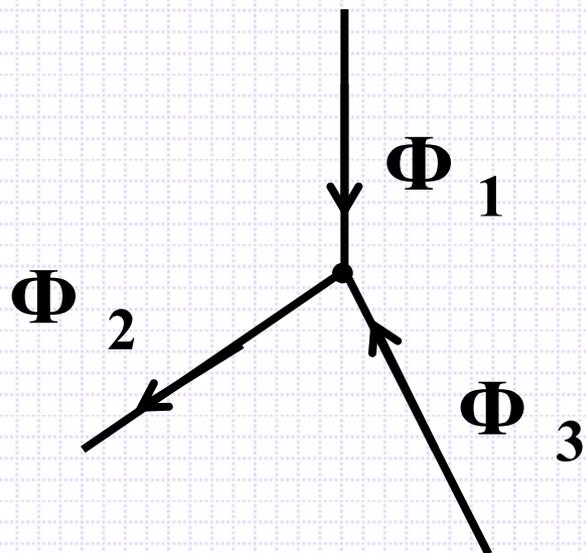
- средней длиной участка  $l$  (м);
- площадью сечения участка  $S$  (м<sup>2</sup>);
- величиной воздушного зазора  $\delta$  (м);
- магнитной индукцией  $B$  (Тл);
- магнитной напряженностью  $H$  (А/м);
- магнитным потоком  $\Phi = BS$  (Вб);
- числом витков катушки  $w$  (в);
- намагничивающей силой  $iw$  (А-в).

# 1. Первый закон Кирхгофа

$$\sum \pm \Phi_k = 0$$

**Для любого узла магнитной цепи алгебраическая сумма магнитных потоков равна нулю, причем магнитные потоки выходящие из узла берутся со знаком плюс (“+”), а входящие в узел – со знаком минус (“-”)**

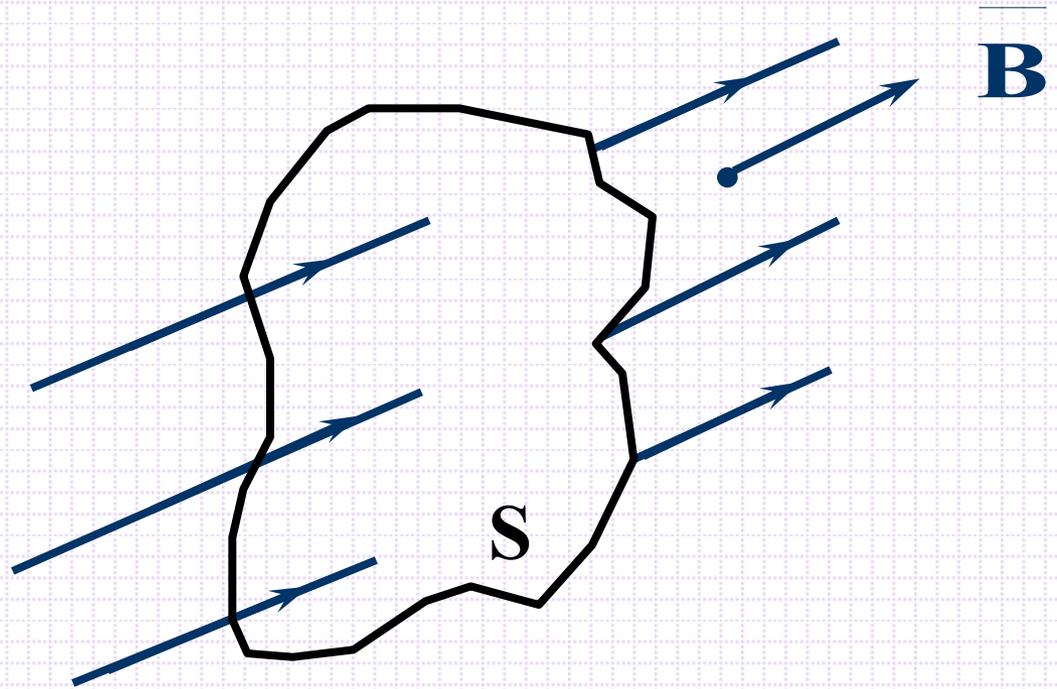
# Например



$$-\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0$$

**Физически первый закон  
Кирхгофа основывается на  
законе непрерывности  
магнитного потока**

$$\oint_S \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} = 0$$



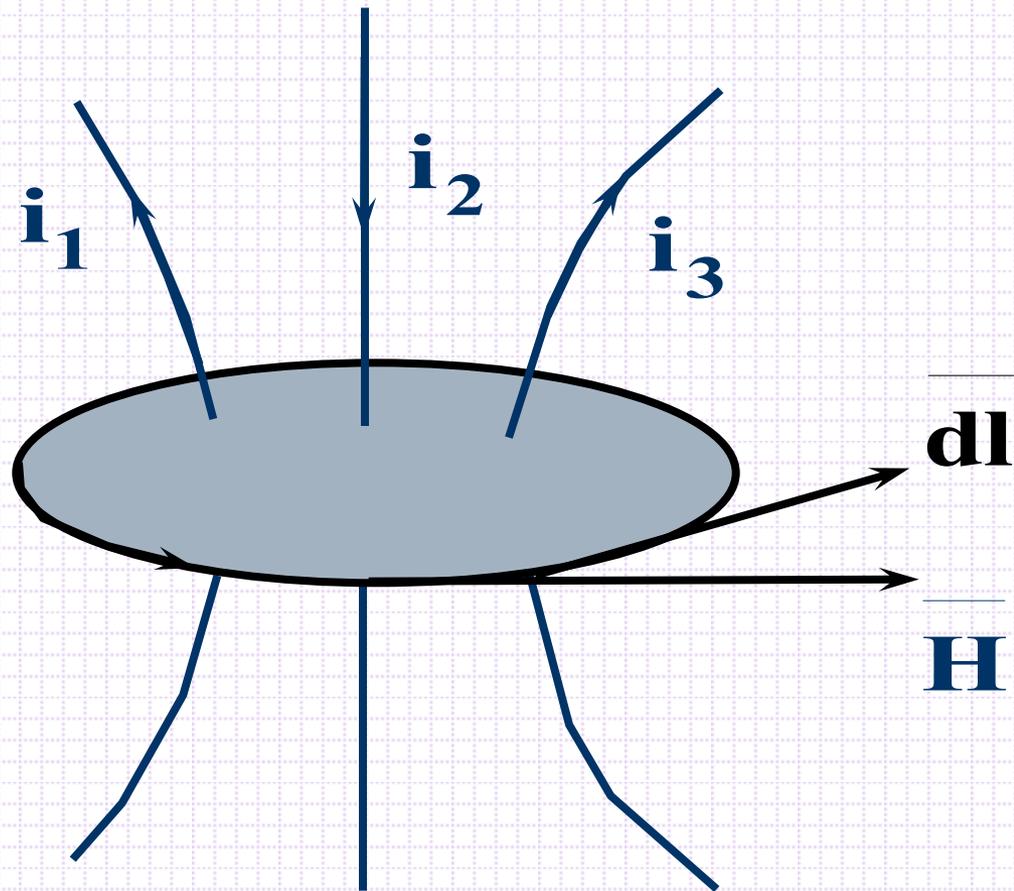
## 2. Второй закон Кирхгофа

$$\sum \pm i_q w_q = \sum \pm U_{MK}$$

**Для любого контура магнитной цепи алгебраическая сумма намагничивающих сил равна алгебраической сумме магнитных напряжений, причем со знаком плюс (+) записываются те слагаемые, положительные направления которых совпадают с направлением обхода контура**

**Физически второй закон  
Кирхгофа основывается на  
законе полного тока**

$$\oint_1 \overline{\mathbf{H}} \cdot \overline{d\mathbf{l}} = \sum \pm \mathbf{i}_k = \mathbf{i}_1 - \mathbf{i}_2 + \mathbf{i}_3$$



$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad - \text{ для воздуха}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$$

- магнитная постоянная

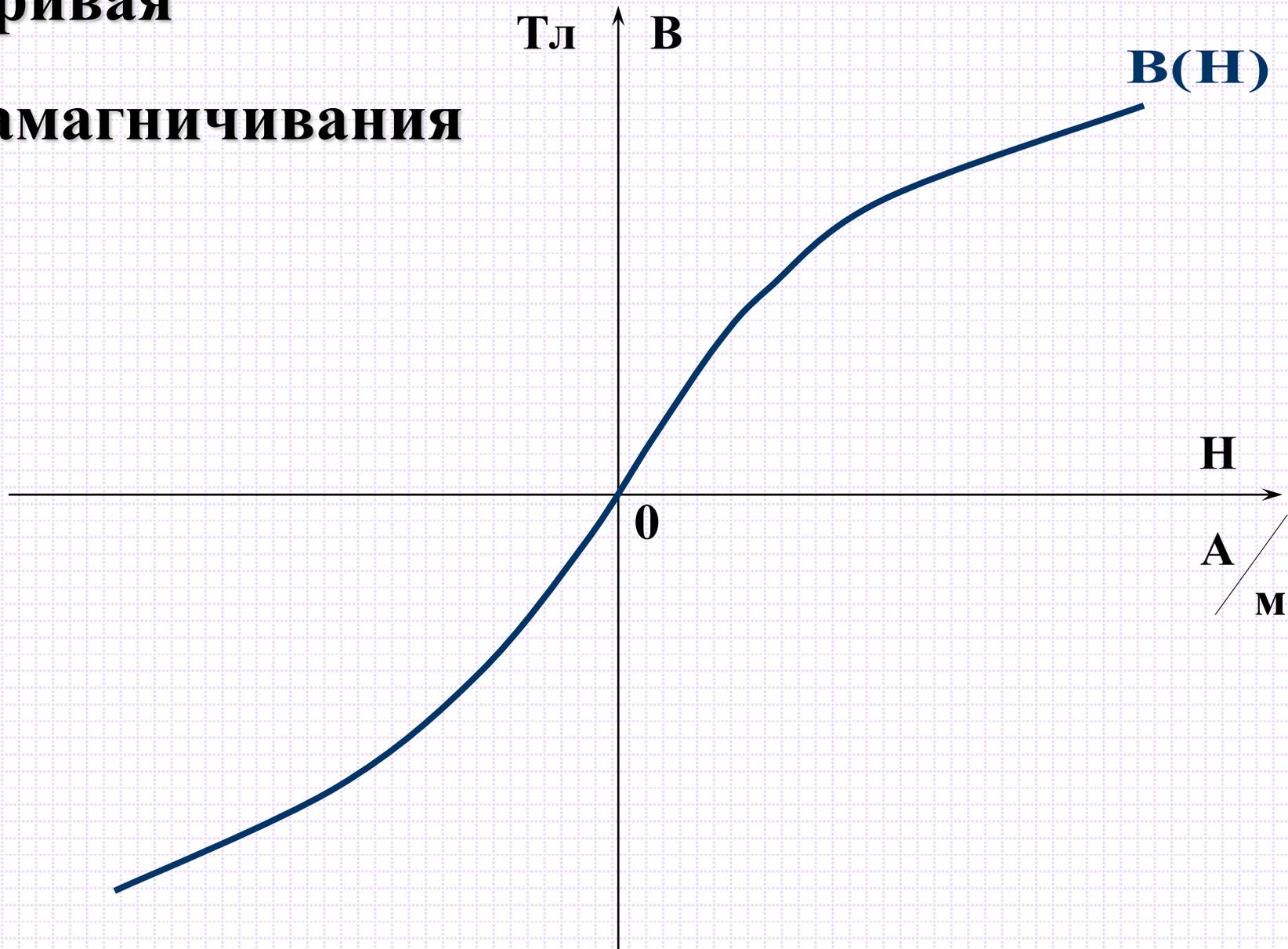
$$\vec{B} = \mu(H) \cdot \vec{H} \quad - \text{ для магнитопровода}$$

$\mu(H)$  - магнитная проницаемость

(Гн/м)

# Кривая

# намагничивания

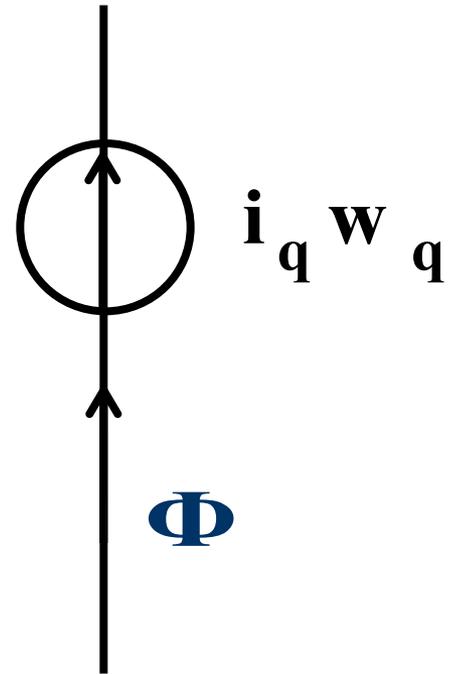
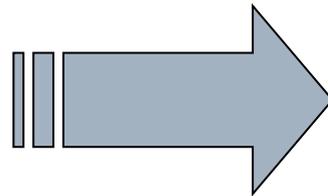
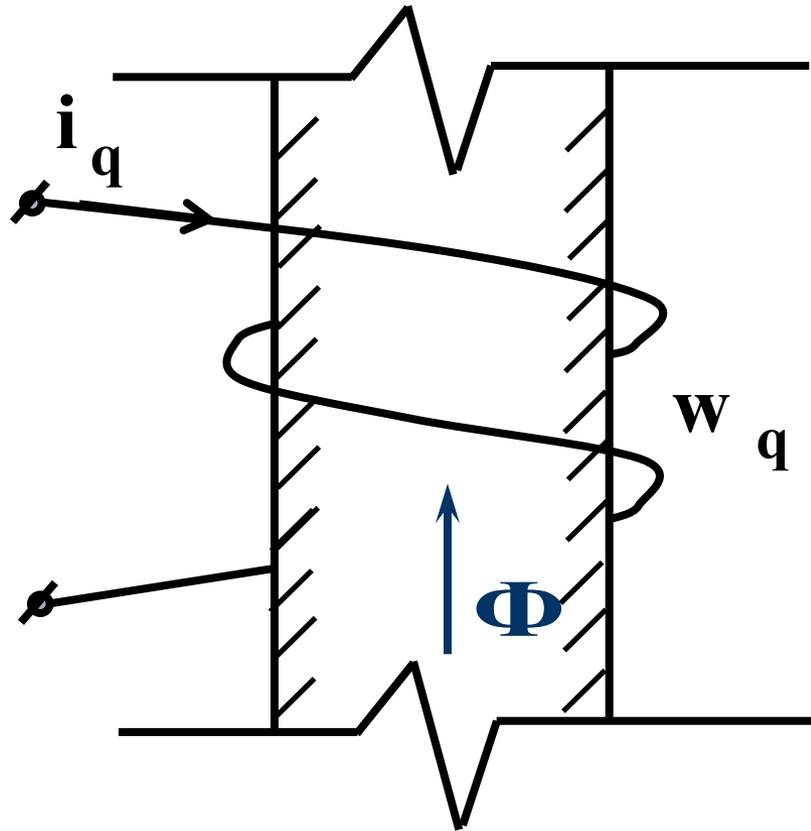


## а) намагничивающая сила

$$i_q w_q \quad (\text{А} - \text{В})$$

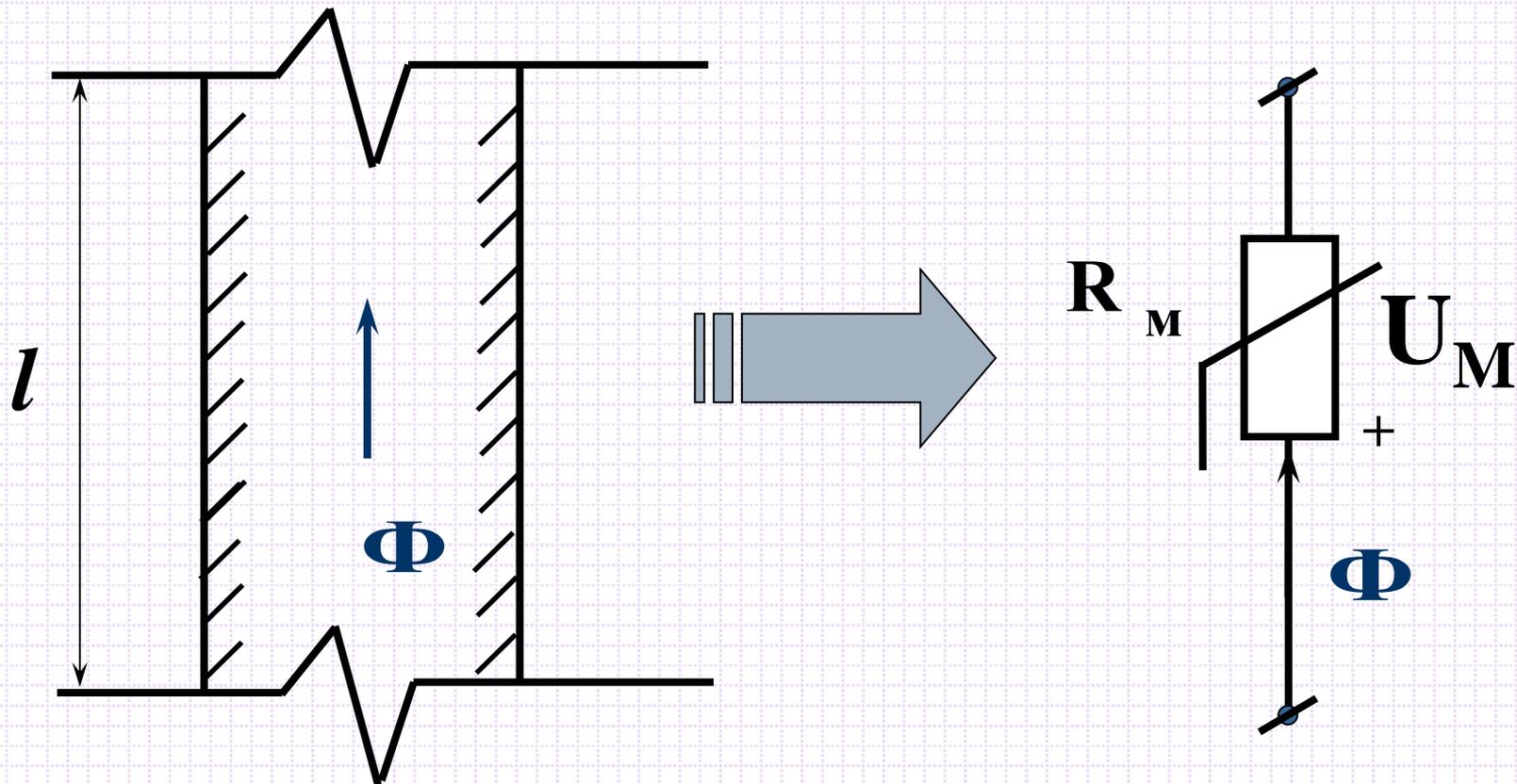
$i_q$  - ТОК (А)

$w_q$  - ЧИСЛО ВИТКОВ КАТУШКИ



**б) нелинейное магнитное  
сопротивление участка  
магнитопровода**

$$R_{\text{м}} \left( \frac{1}{\Gamma_{\text{н}}} \right)$$



Для ферромагнитного материала

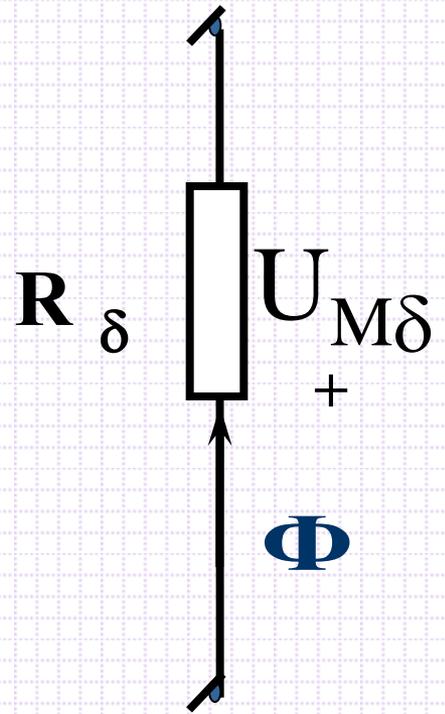
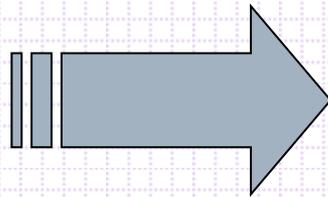
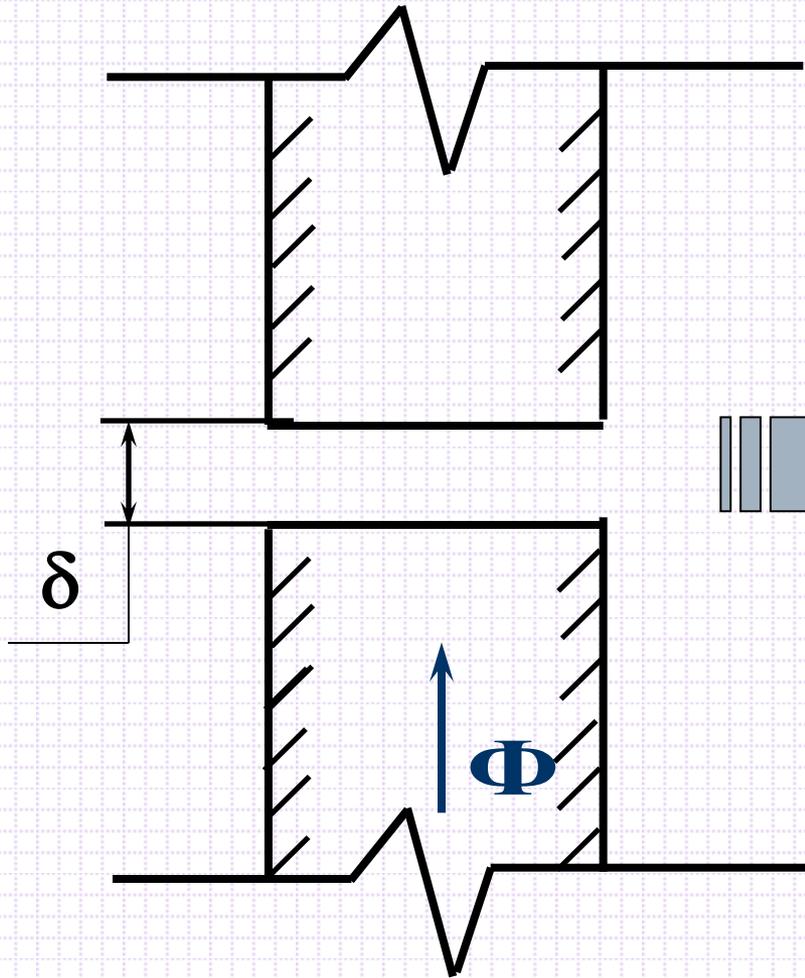
$$\mathbf{R}_m = \frac{l}{\mu(H) \cdot S} = \frac{H \cdot l}{B \cdot S}, \quad \frac{1}{\text{Гн}}$$

Магнитное напряжение

$$\mathbf{U}_m = \mathbf{R}_m \Phi = H l, \quad \text{А}$$

**в) линейное магнитное  
сопротивление воздушного  
зазора**

$$R_{\delta} \left( \frac{1}{\Gamma_H} \right)$$



$$\mathbf{R}_{\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 S}, \quad \frac{1}{\text{Гн}}$$

Магнитное напряжение

$$\mathbf{U}_{\text{м}\delta} = \mathbf{R}_{\delta} \Phi = \frac{\mathbf{B} \cdot \delta}{\mu_0}, \quad \text{А}$$

**Таким образом**

$$\sum \pm \mathbf{i}_q \mathbf{w}_q = \sum \pm \mathbf{R}_{M_K} \cdot \Phi_K + \sum \pm \mathbf{R}_{\delta_K} \cdot \Phi_K$$

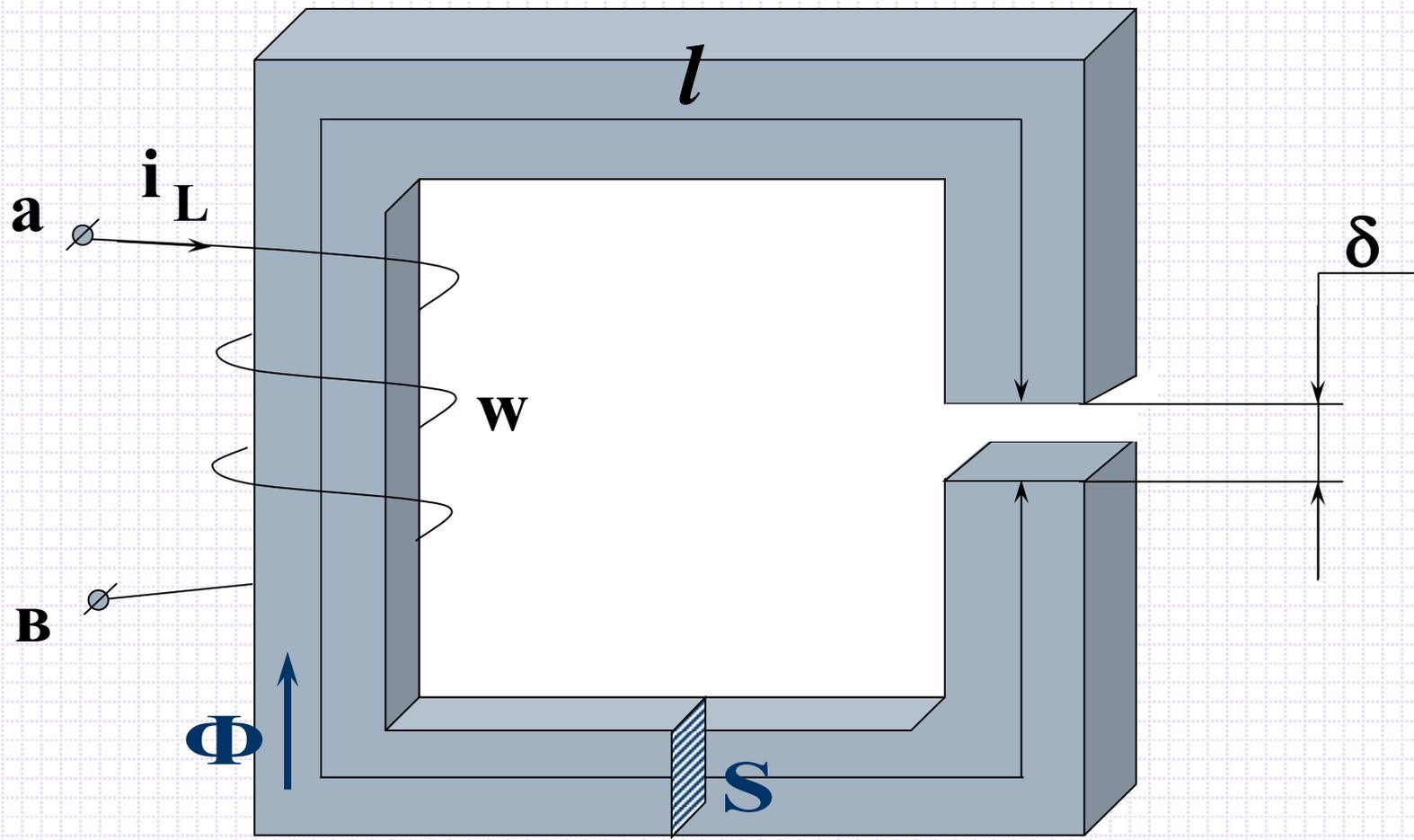
# Аналогия между электрическими и магнитными цепями:

$$i \rightarrow \Phi$$

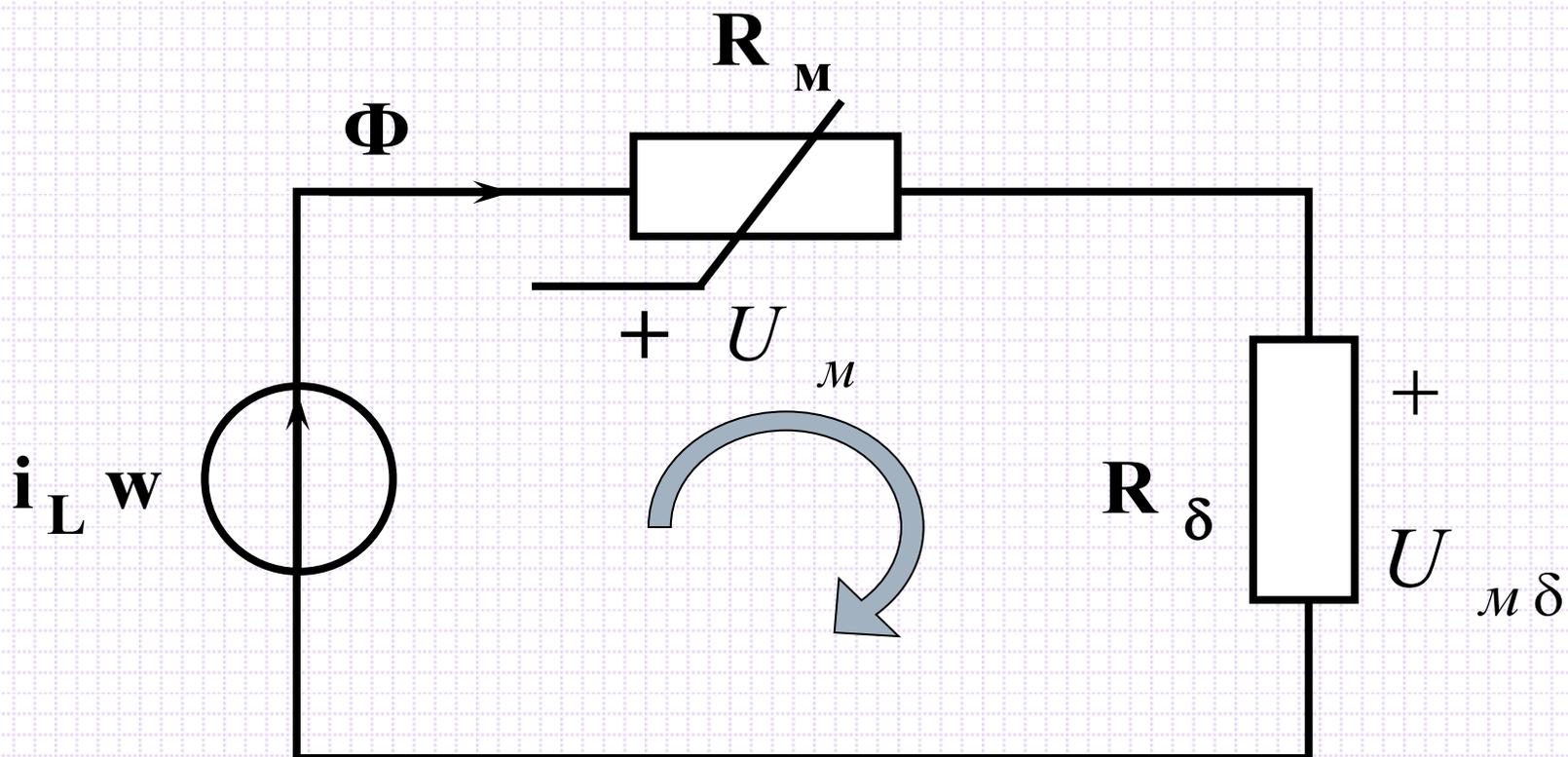
$$u \rightarrow U_M$$

$$e \rightarrow i\omega$$

# Расчет неразветвленной магнитной цепи НИЭ



# Схема замещения магнитной цепи



$$\mathbf{R}_M = \frac{\mathbf{H} \cdot \mathbf{l}}{\mathbf{B} \cdot \mathbf{S}}$$

$$\mathbf{R}_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot \mathbf{S}}$$

По 2 закону Кирхгофа

$$i_L w = R_M \Phi + R_\delta \Phi = H \cdot l + \frac{B \cdot \delta}{\mu_0}, \text{ A}$$

где

$$\Phi = B \cdot S, \text{ Вб}$$