

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 Φ**

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

Магнитные цепи характеризуются:

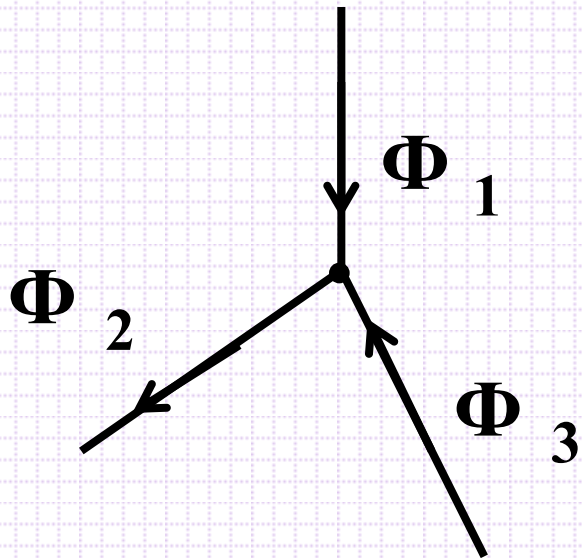
- средней длиной участка l (м);
- площадью сечения участка S (м²);
- величиной воздушного зазора δ (м);
- магнитной индукцией B (Тл);
- магнитной напряженностью H (А/м);
- магнитным потоком $\Phi = BS$ (Вб);
- числом витков катушки w (в);
- намагничивающей силой iw (А-в).

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 (“-”)

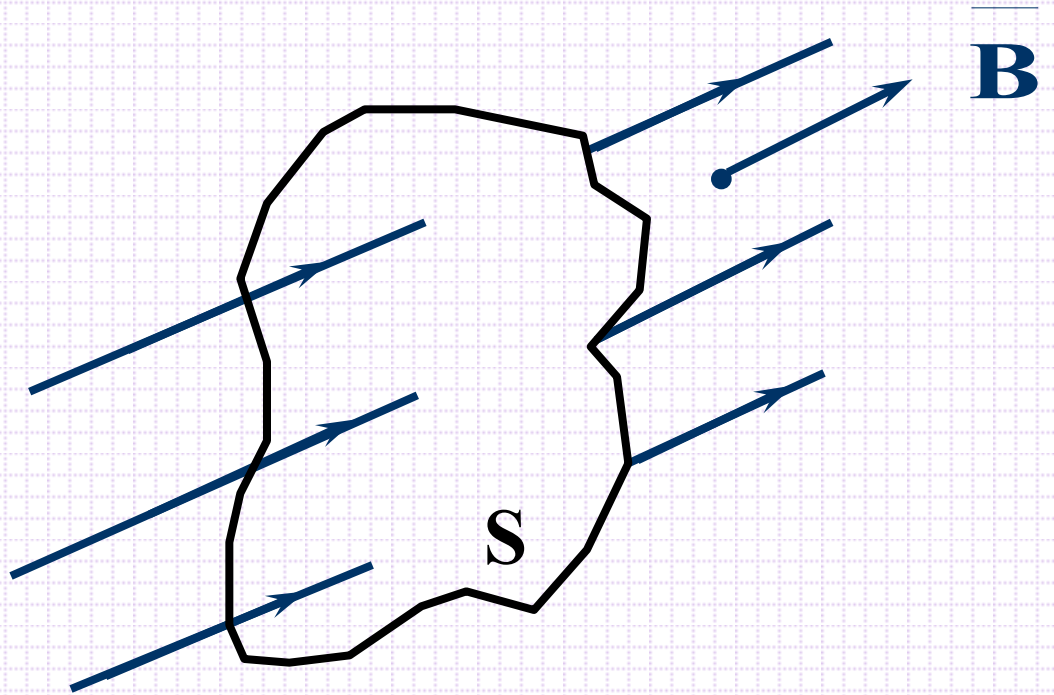
Например



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

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

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



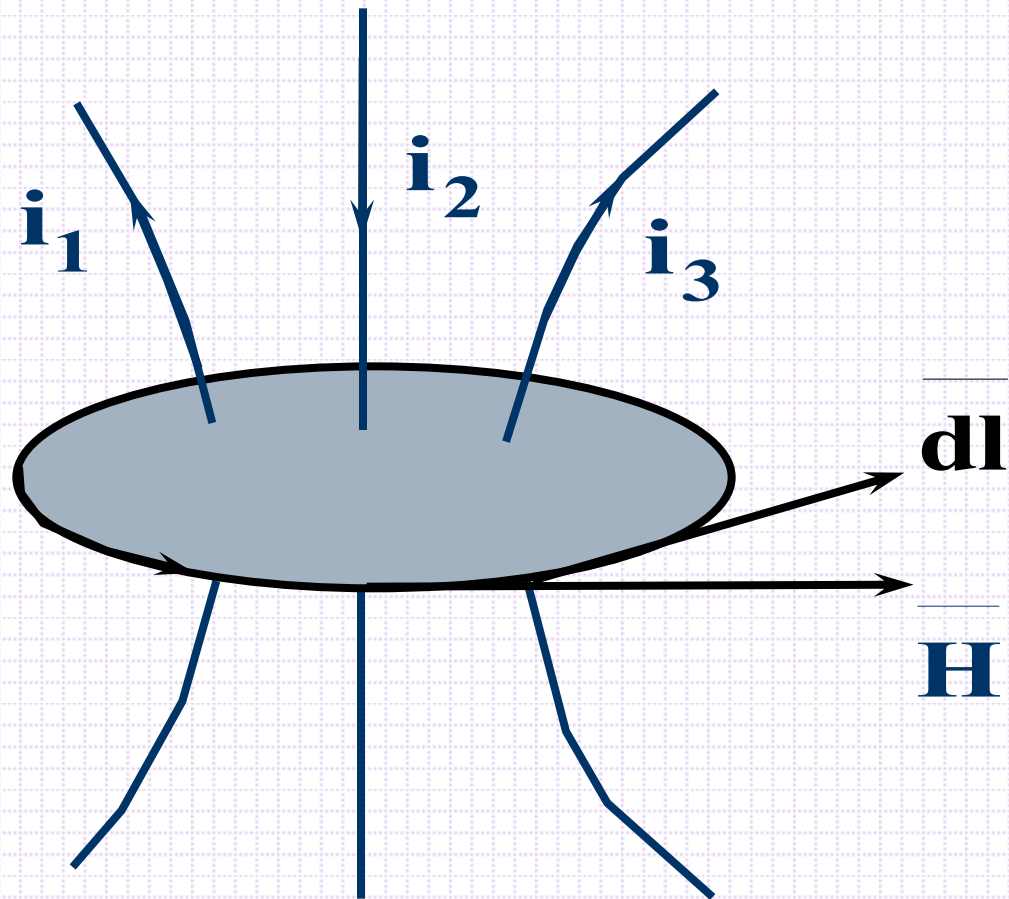
2. Второй закон Кирхгофа

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

**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**

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



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

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

- магнитная постоянная

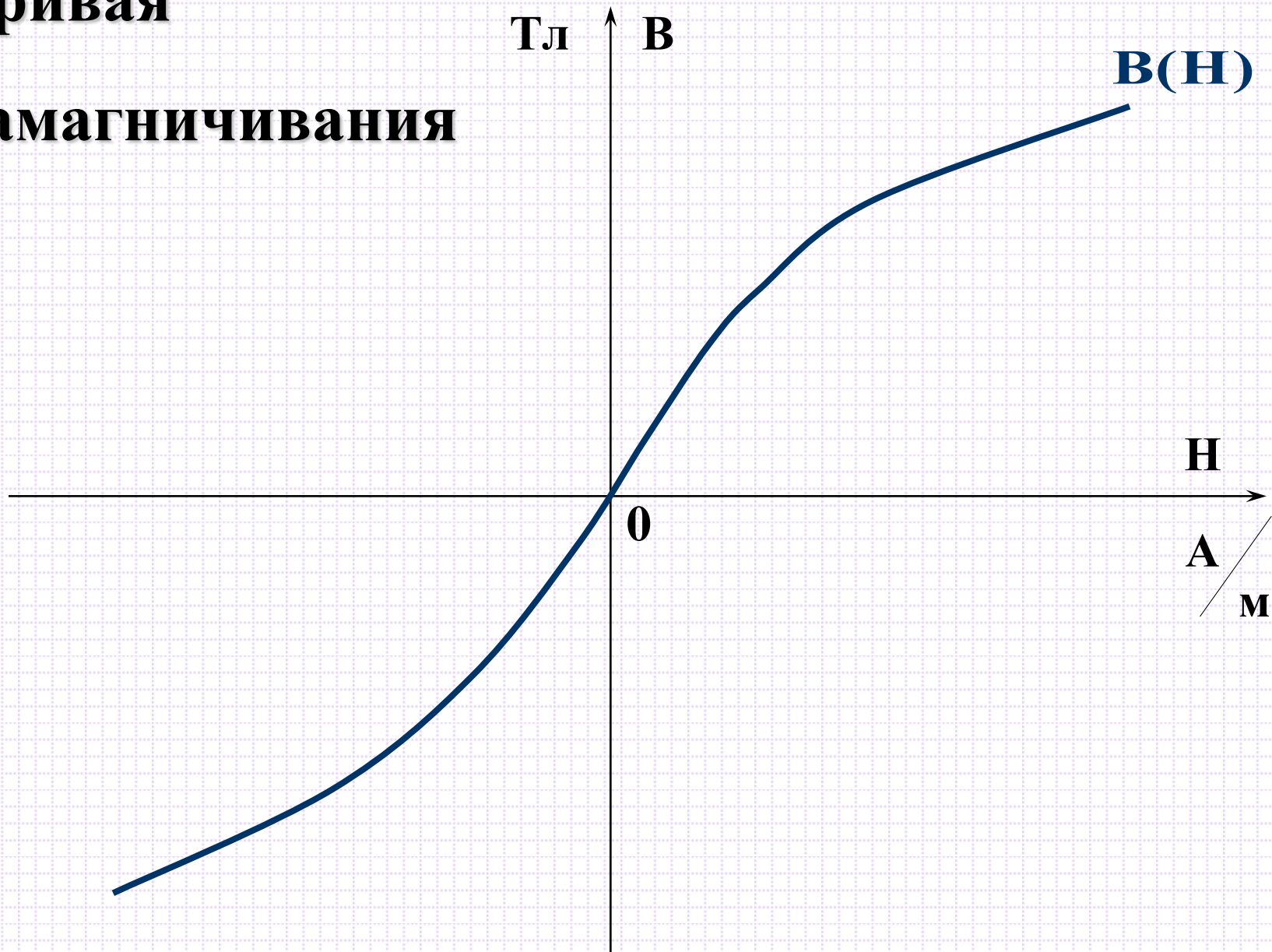
$$\vec{B} = \mu(H) \cdot \vec{H} \quad - \text{ для магнитопровода}$$

$\mu(H)$ - магнитная проницаемость

(Гн/м)

Кривая

намагничивания

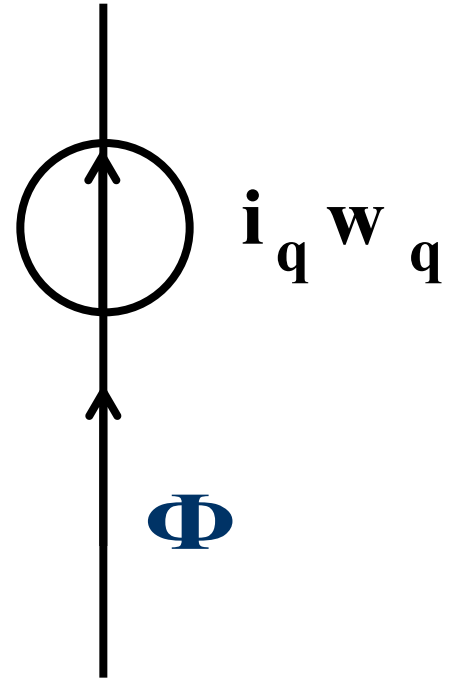
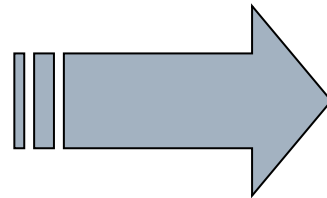
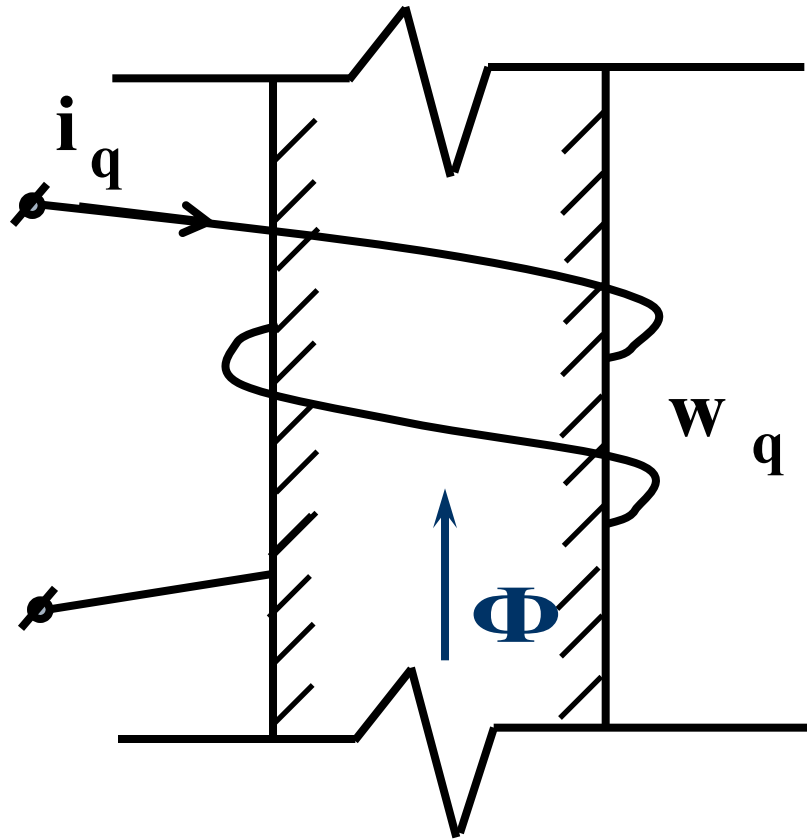


а) намагничивающая сила

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

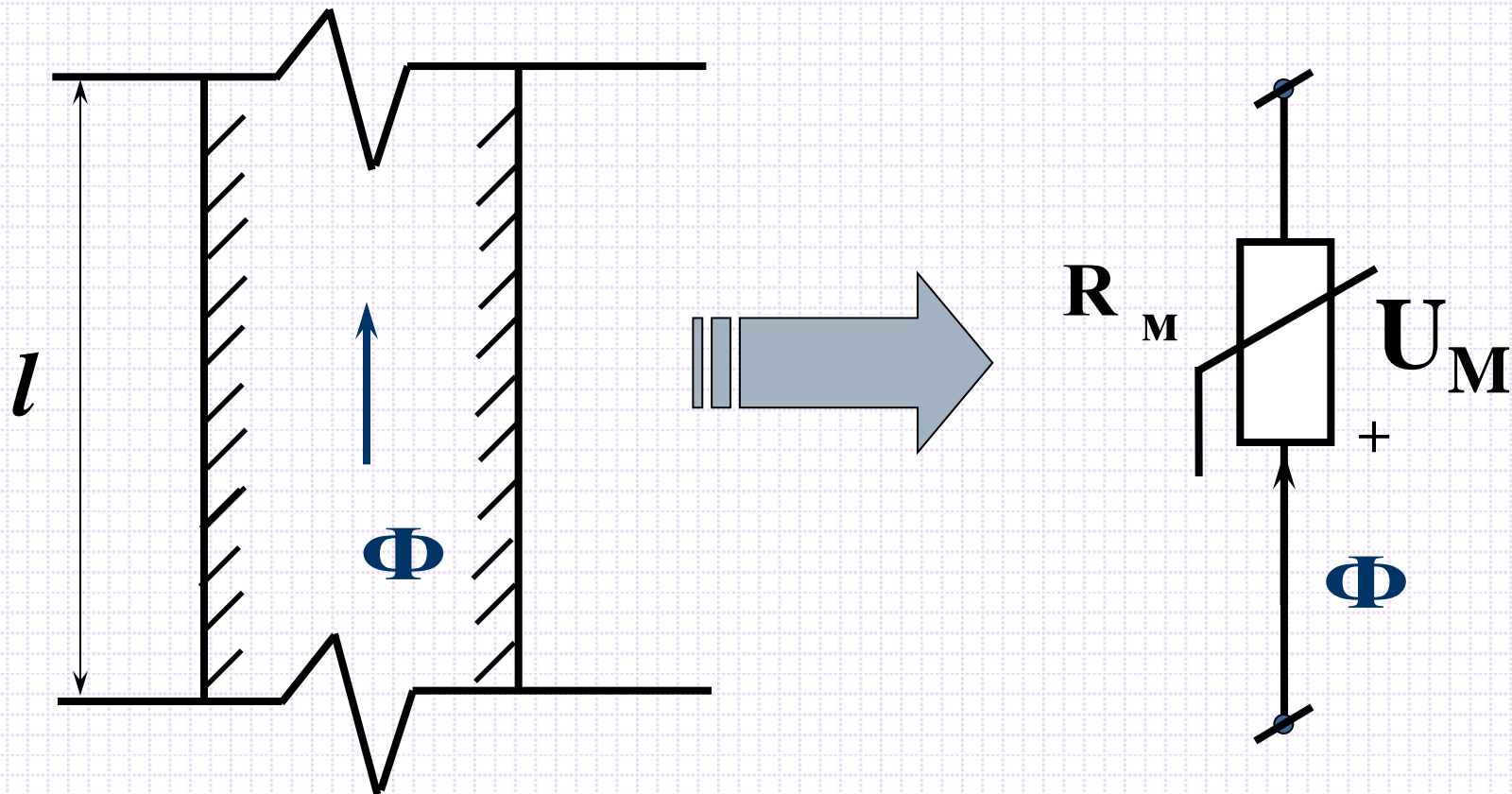
i_q - ТОК (А)

w_q - ЧИСЛО ВИТКОВ КАТУШКИ



б) нелинейное магнитное сопротивление участка магнитопровода

$$\mathbf{R}_m \left(\frac{1}{\Gamma_H} \right)$$



Для ферромагнитного материала

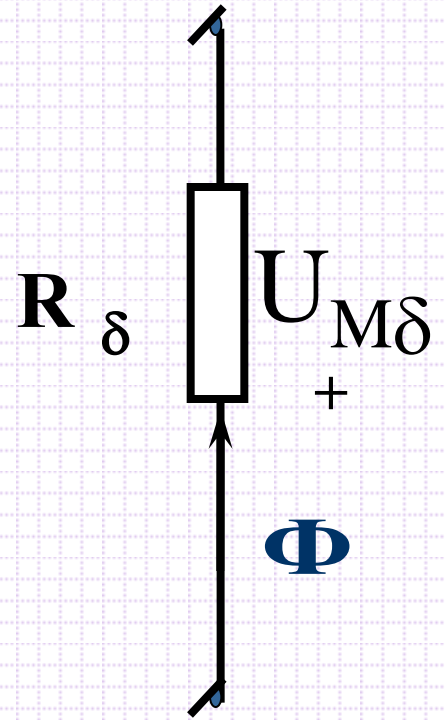
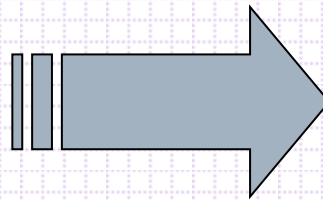
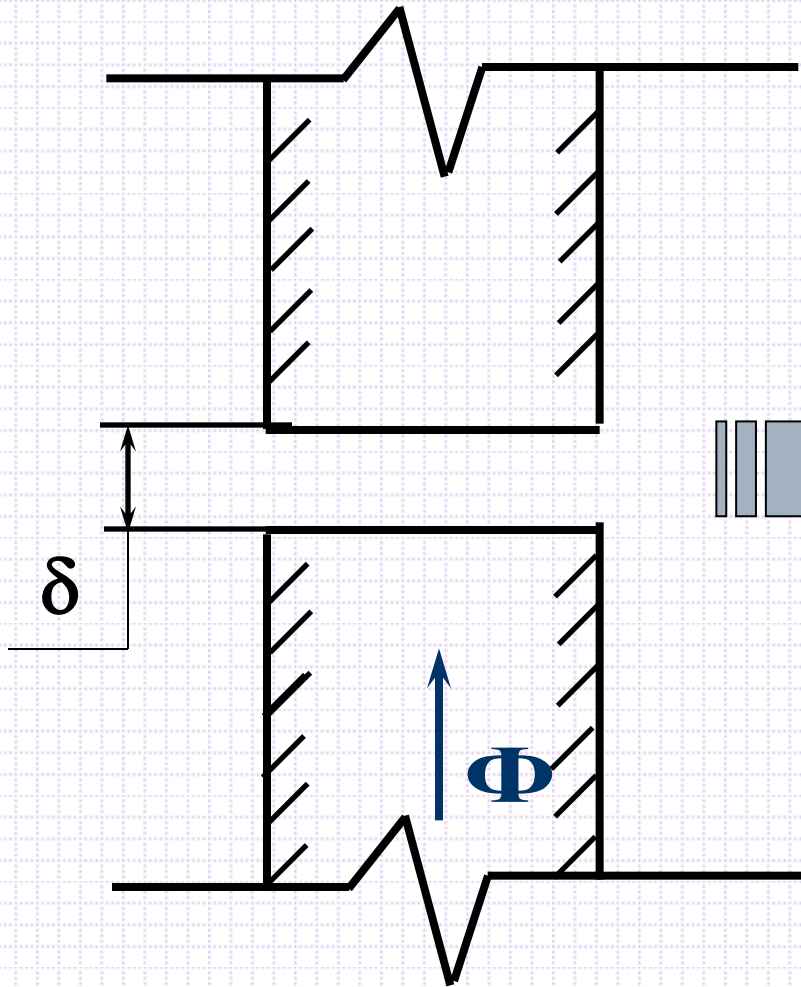
$$\mathbf{R}_m = \frac{l}{\mu(H) \cdot S} = \frac{H \cdot l}{B \cdot S}, \quad \frac{1}{\text{Гн}}$$

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

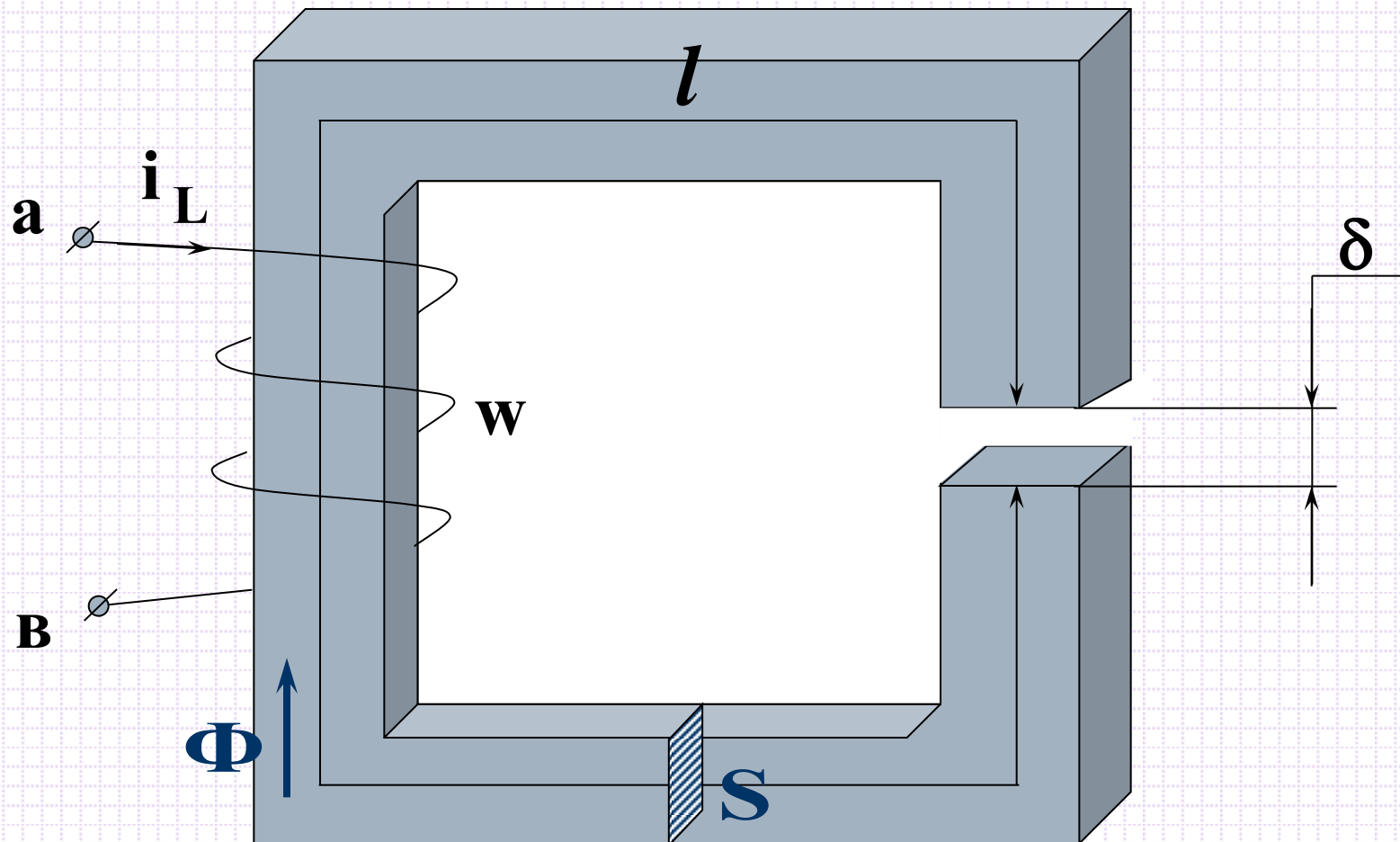
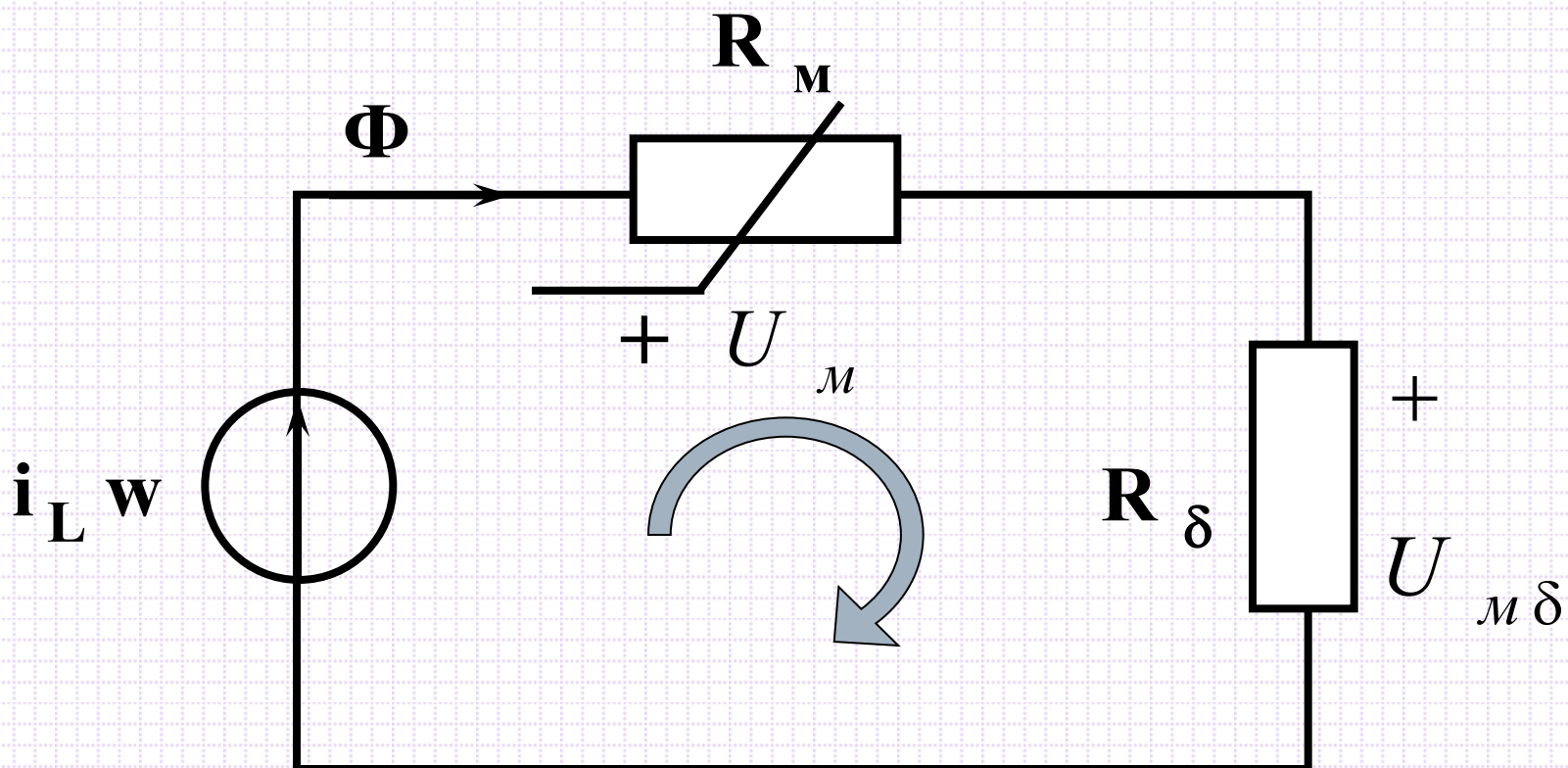


Схема замещения магнитной цепи



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

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

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

$$\Phi = B \cdot S, \text{ Вб}$$