

Лекция 14

Магнитные цепи.

Параграф 6.3-6.5 учебника

Лекция №14 Магнитные цепи

Закон полного тока

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I$$

Циркуляция вектора напряженности магнитного поля по замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром.

Лекция №14 Магнитные цепи

Если контур можно разбить на участки, где напряженность магнитного поля постоянна, то интеграл можно заменить суммой произведений $H_k \cdot l_k$, где l_k - длина k-го участка, на котором H_k постоянна.

$$\sum_1^n H_k \cdot l_k = \sum I$$

Лекция №14 Магнитные цепи

Если магнитное поле создается катушкой, то $\sum I$ представляется в виде произведения $w \cdot I$, где w – число витков катушки и I – ток катушки.

$$\sum_1^n H_k \cdot l_k = Iw$$

Лекция №14 Магнитные цепи

Магнитодвижущая сила - величина, характеризующая магнитное действие электрического тока. Измеряется в Амперах.

$\sum I$ - магнитодвижущая сила (F) (МДС)

Для катушки $F = w \cdot I$.

Лекция №14 Магнитные цепи

$$H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + \dots = F$$

$H_k \cdot l_k = V_k$ - разность магнитных потенциалов на k -ом участке или магнитное напряжение k -го участка

$$\sum V_K = \sum F_i$$

Эквивалент 2-го закона Кирхгофа

Лекция №14 Магнитные цепи

$$B_k = \mu_0 \cdot \mu_k \cdot H_k$$

$$\Phi_k = B_k \cdot S_k = \mu_0 \cdot \mu_k \cdot H_k \cdot S_k$$

$$H_k \cdot l_k = V_k$$

Магнитное сопротивление

$$r_k = \frac{l_k}{\mu_0 \cdot \mu_k \cdot S_k} \quad \left(\frac{1}{\Gamma H} \right)$$

Лекция №14 Магнитные цепи

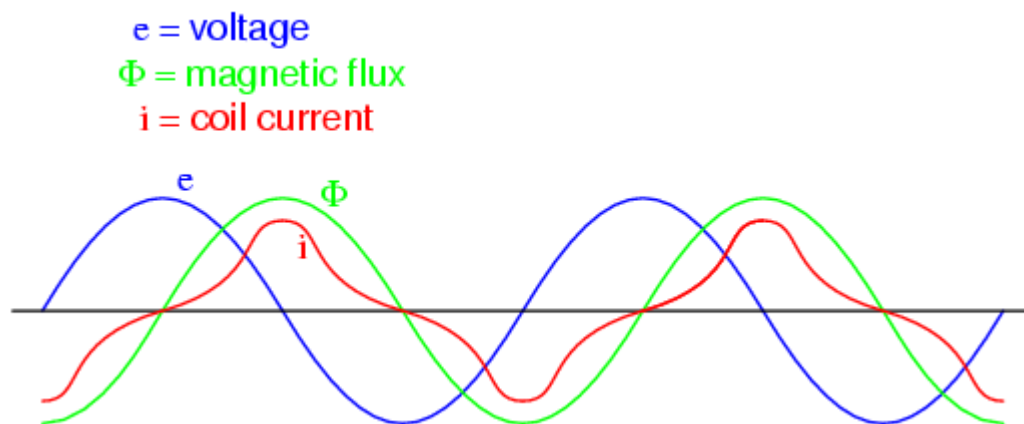
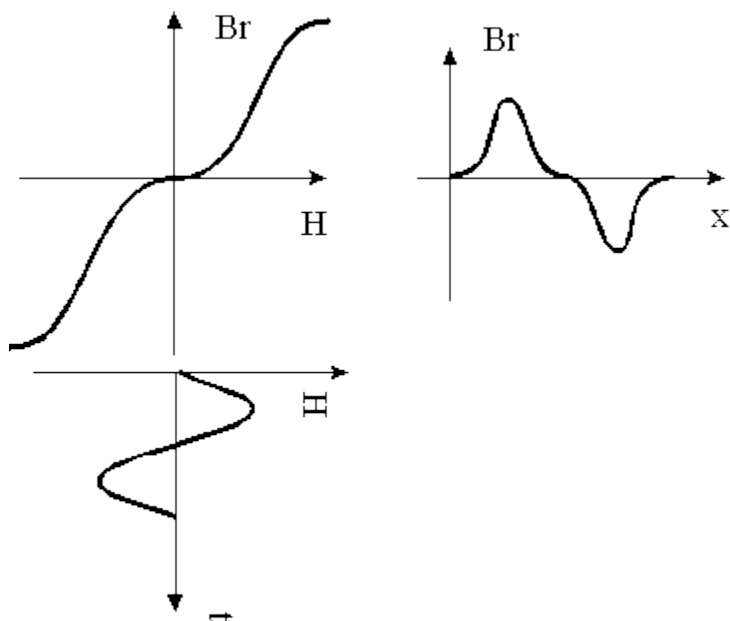
Закон Ома для магнитной цепи

$$\Phi_k = \frac{V_k}{r_k}$$

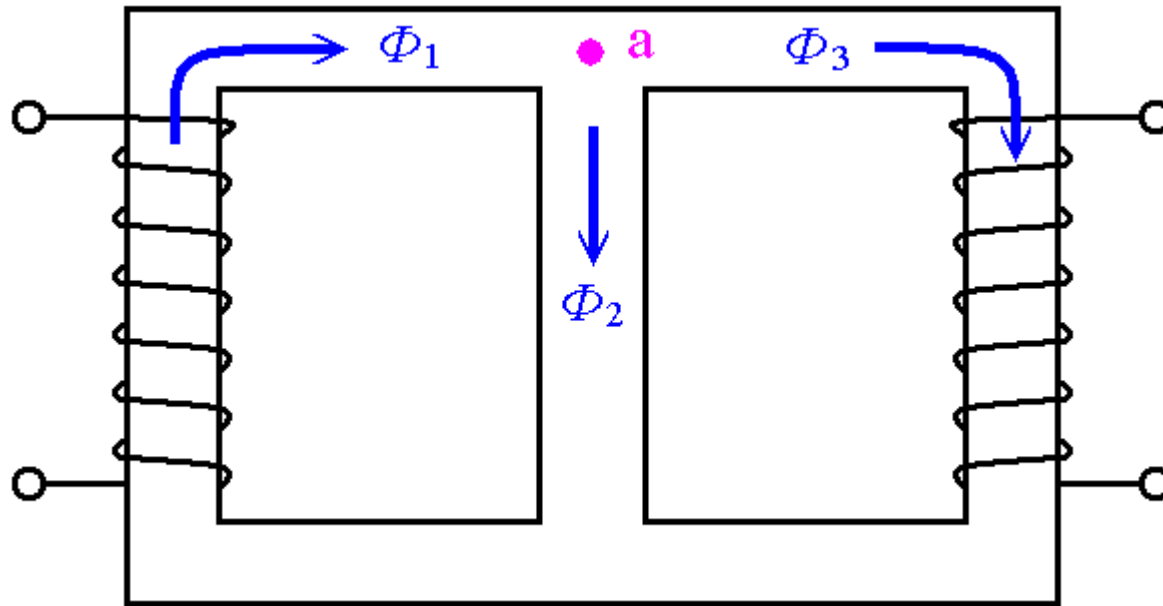
$$\Phi = \frac{F}{\sum r_k}$$

Лекция №14 Магнитные цепи

Искажения в магнитных цепях



Лекция №14 Магнитные цепи



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

$$\sum \Phi_K = 0$$

Эквивалент 1-го закона Кирхгофа

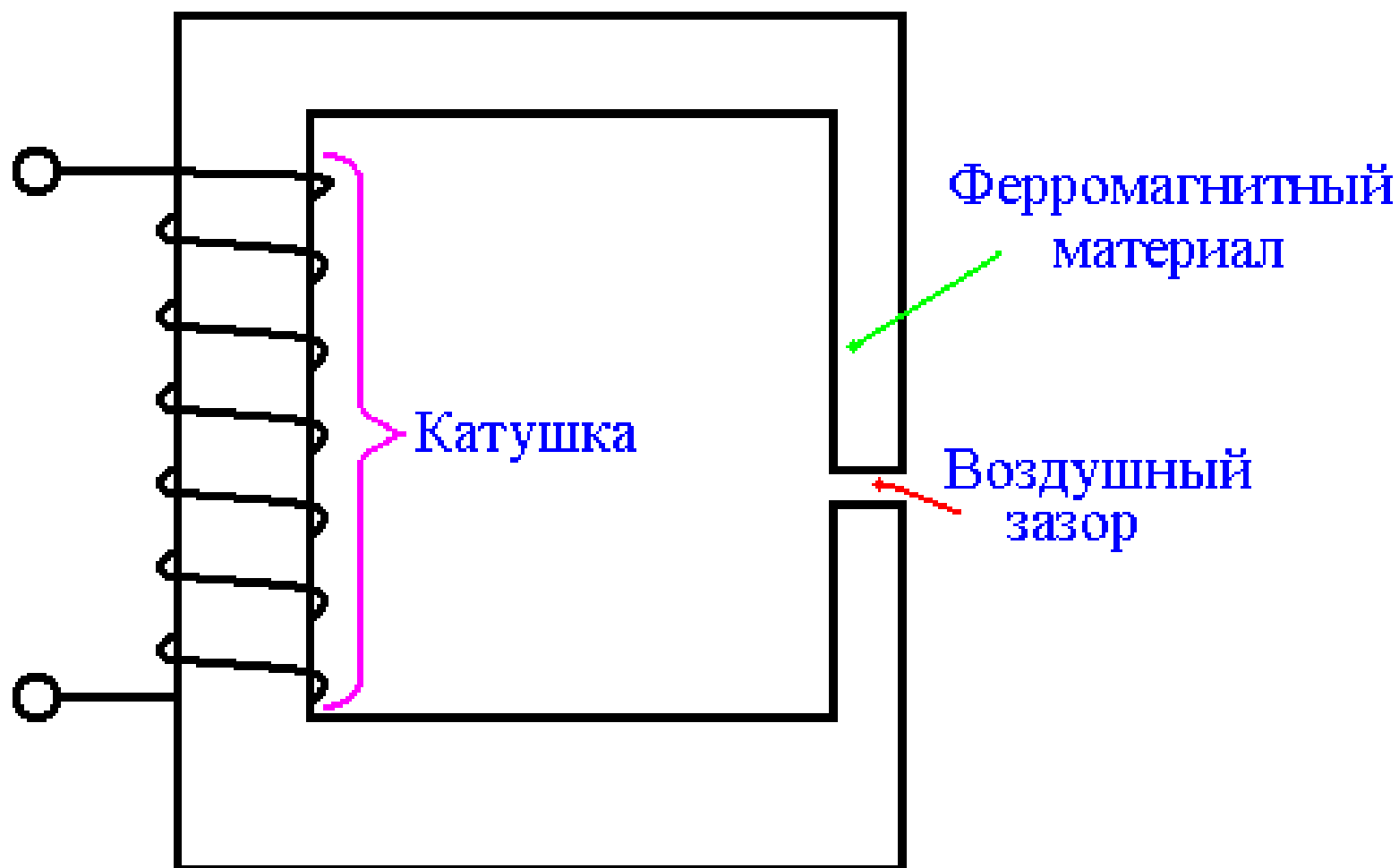
Лекция №14 Магнитные цепи

Анализ неразветвленной магнитной цепи

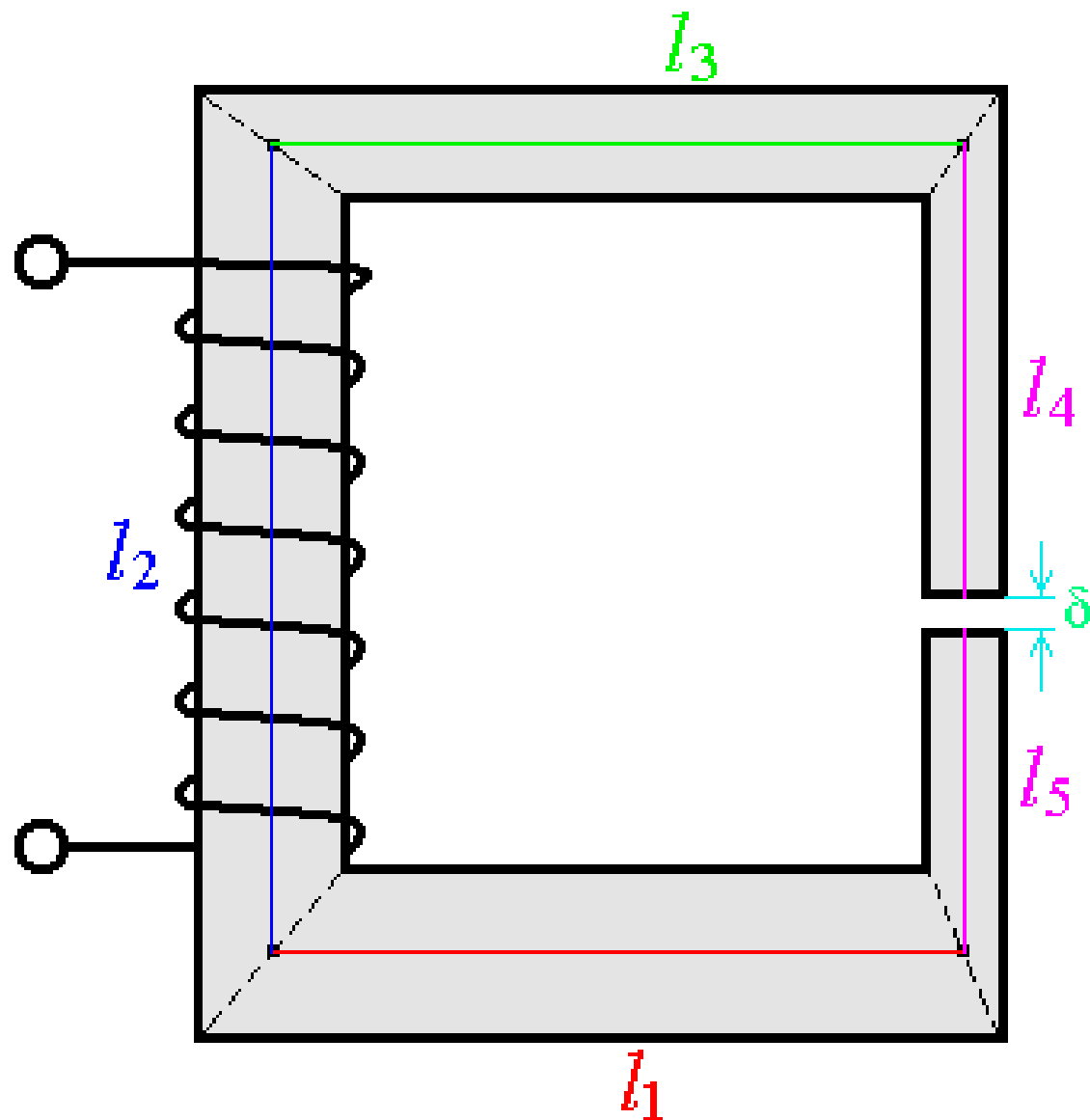
По заданному магнитному потоку определить МДС (прямая задача).

По заданному значению МДС рассчитать магнитный поток (обратная задача)

Лекция №14 Магнитные цепи



Лекция №14 Магнитные цепи



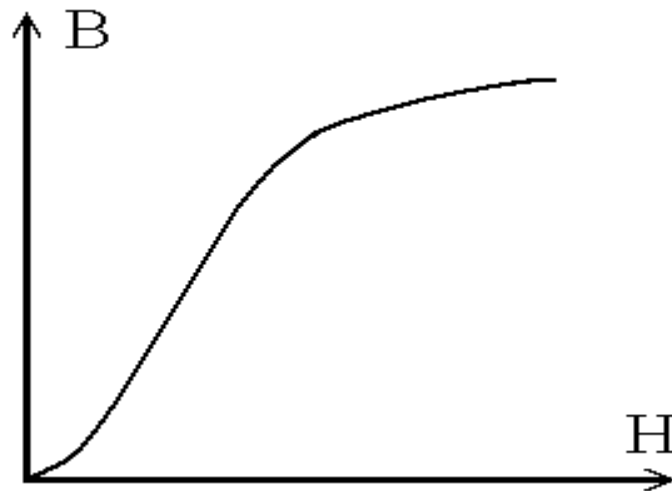
Лекция №14 Магнитные цепи

Область сердечника со средней длиной l_1
имеет площадь поперечного сечения S_1

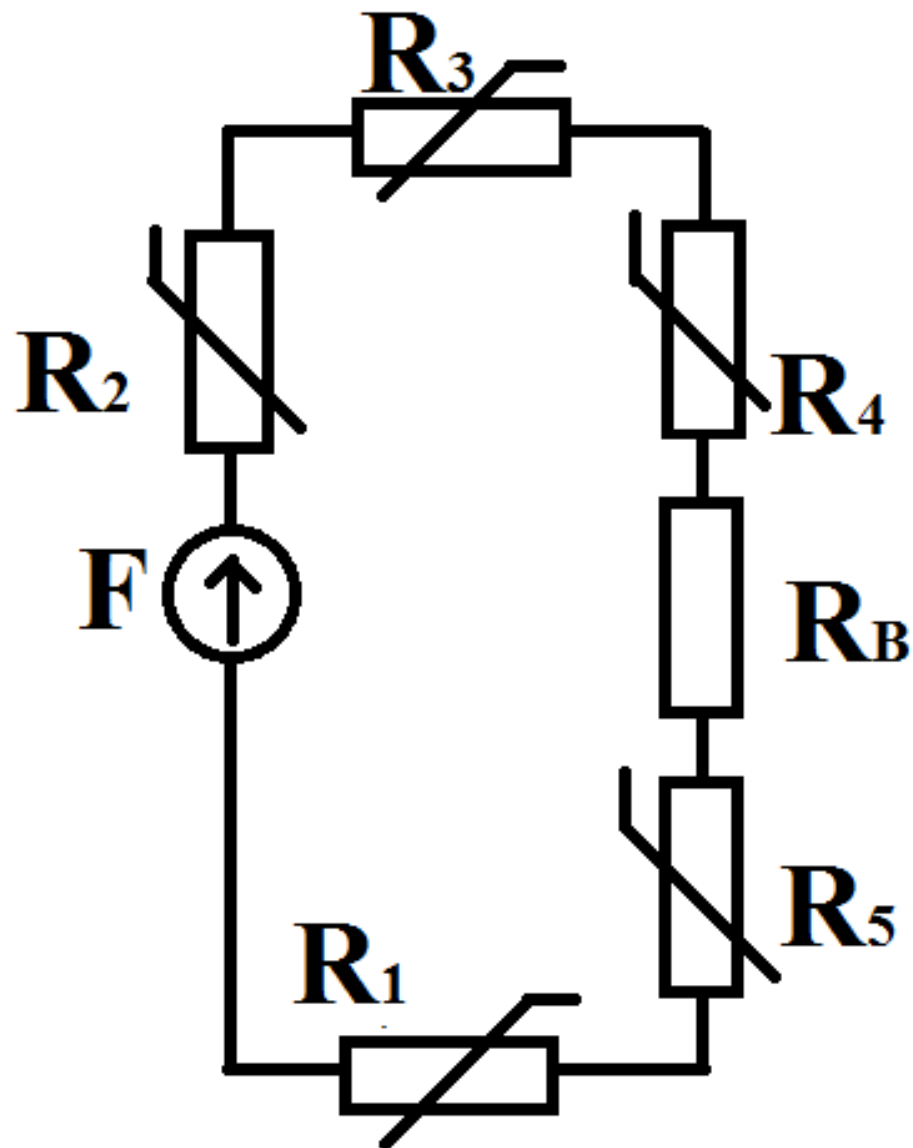
$$l_2 \Rightarrow S_2$$

$$l_3 \Rightarrow S_3$$

$$l_{4,5}(\delta) \Rightarrow S_4$$



Лекция №14 Магнитные цепи



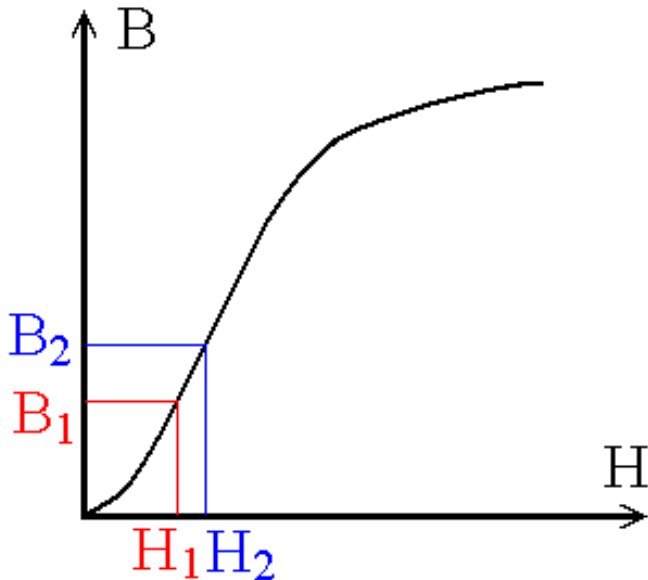
Лекция №14 Магнитные цепи

1. Для каждого участка магнитной цепи определяем магнитную индукцию B .

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}; \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}; \quad \text{и т.д.}$$

Лекция №14 Магнитные цепи

2. Для каждого участка магнитной цепи определяем напряженность магнитного поля H , используя зависимость $B(H)$ и найденное значение B



$$H_{\epsilon} = \mu_0 \cdot B_{\epsilon}$$

Лекция №14 Магнитные цепи

3. Для каждого участка магнитной цепи определяем произведение напряженности магнитного поля H на длину этого участка и затем складываем полученные результаты для определения МДС.

$$H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + H_4 \cdot l_4 + H_5 \cdot l_5 + H_6 \cdot \delta = F$$

Лекция №14 Магнитные цепи

4. По найденному значению МДС определяются или число витков катушки с заданной величиной тока, или величину тока при заданном числе витков.

$$F = w \cdot I$$

Лекция №14 Магнитные цепи

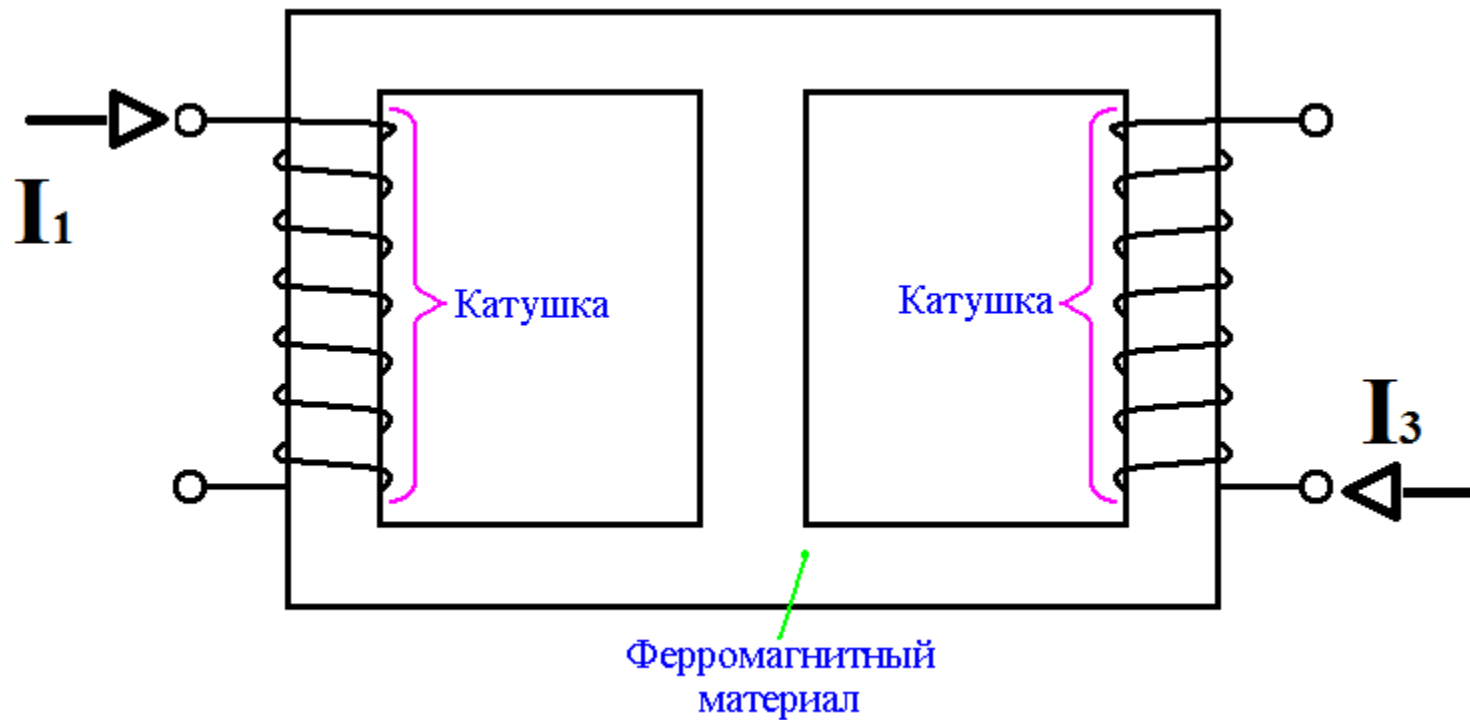
Обратная задача

Решается на основе прямой задачи итерационно, а именно, задается некоторая величина магнитного потока. Для этого магнитного поток определяется МДС.

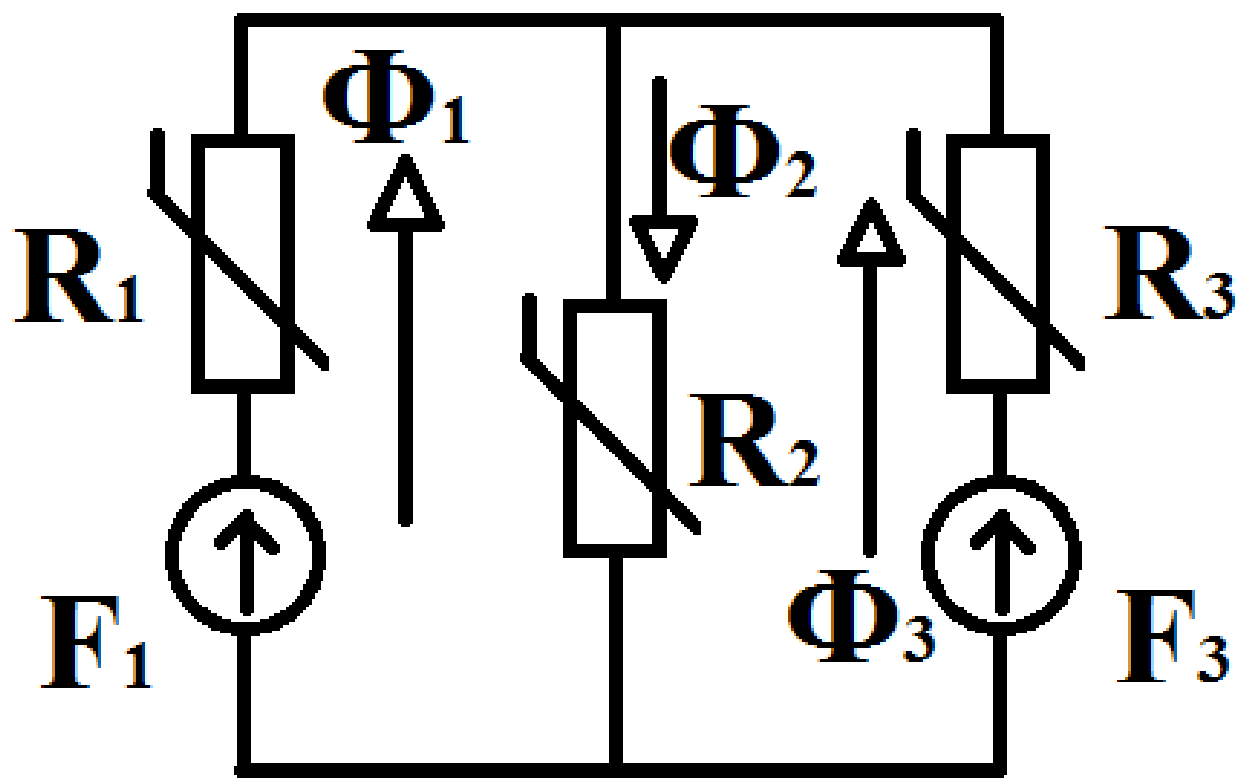
Для магнитной цепи из одного линейного и одного нелинейного участка, возможно графоаналитическое решение.

Лекция №14 Магнитные цепи

Анализ разветвленной магнитной цепи



Лекция №14 Магнитные цепи



Лекция №14 Магнитные цепи

$$\begin{cases} \Phi_1 - \Phi_2 + \Phi_3 = 0 \\ H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 = F_1 \\ H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 = F_3 \end{cases}$$

$$B_n = \frac{\Phi_n}{S_n}$$

Зная B по кривой намагничивания определяем H для каждого участка

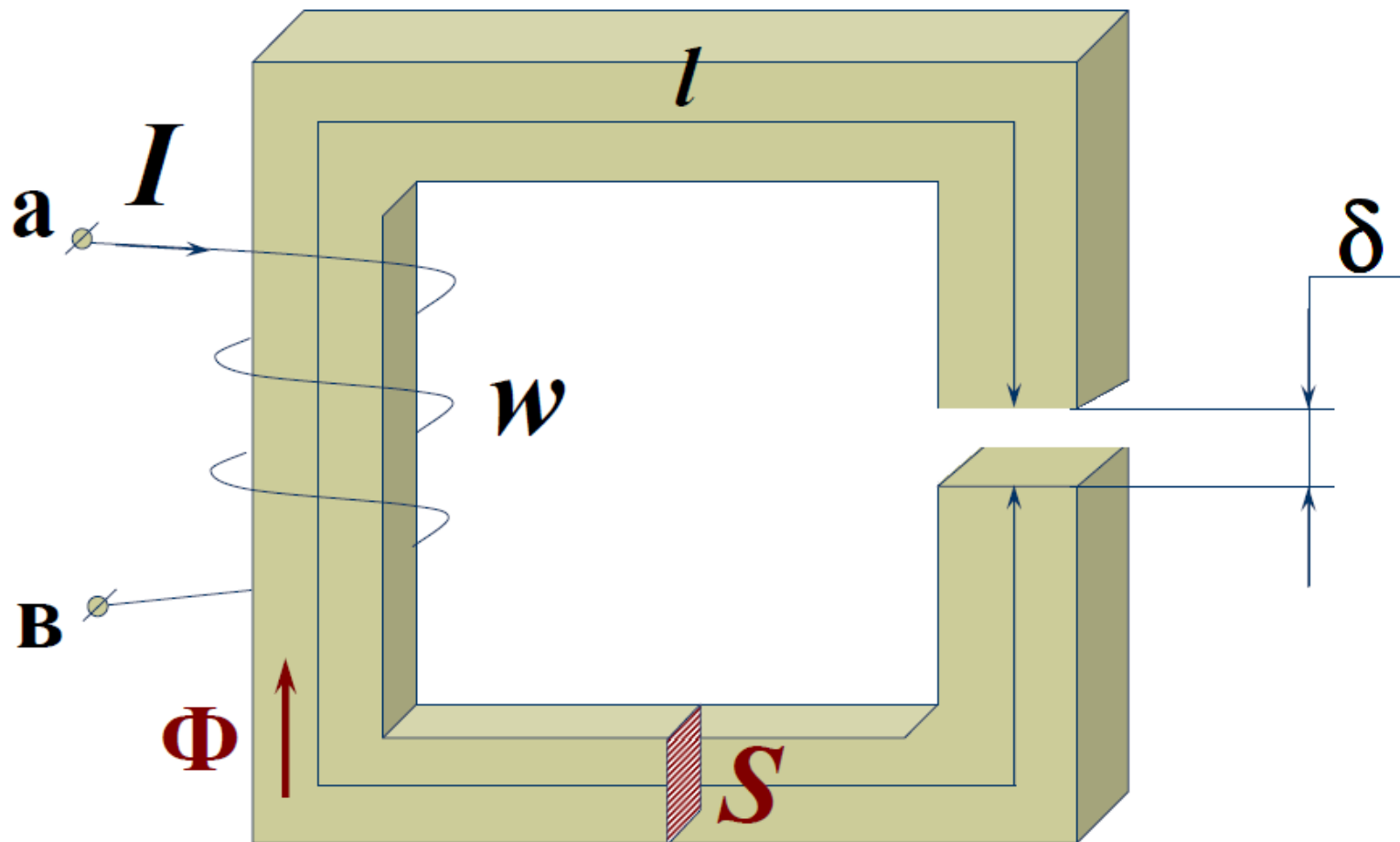
Лекция №14 Магнитные цепи

Магнитные цепи с переменным магнитным потоком

Приближения:

- Зависимость между током и напряжением самоиндукции в катушке считаем линейной.
- Межвитковой емкостью катушки (токами смещения) можно пренебречь
- Магнитный поток в любом поперечном сечении сердечника или воздушного зазора одинаков (поля рассеивания отсутствуют)

Лекция №14 Магнитные цепи



Лекция №14 Магнитные цепи

$$u = U_m \sin(\omega t) \quad e = - \iint_S \frac{dB}{dt} ds$$

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} = Ri + wS \frac{dB}{dt} \quad \text{Где } S \text{-площадь витка катушки}$$

$$R \rightarrow 0 \Rightarrow u = wS \frac{dB}{dt}$$

$$B = \frac{U_m}{\omega w S} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad B_m = \frac{U_m}{\omega w S}$$

Лекция №14 Магнитные цепи

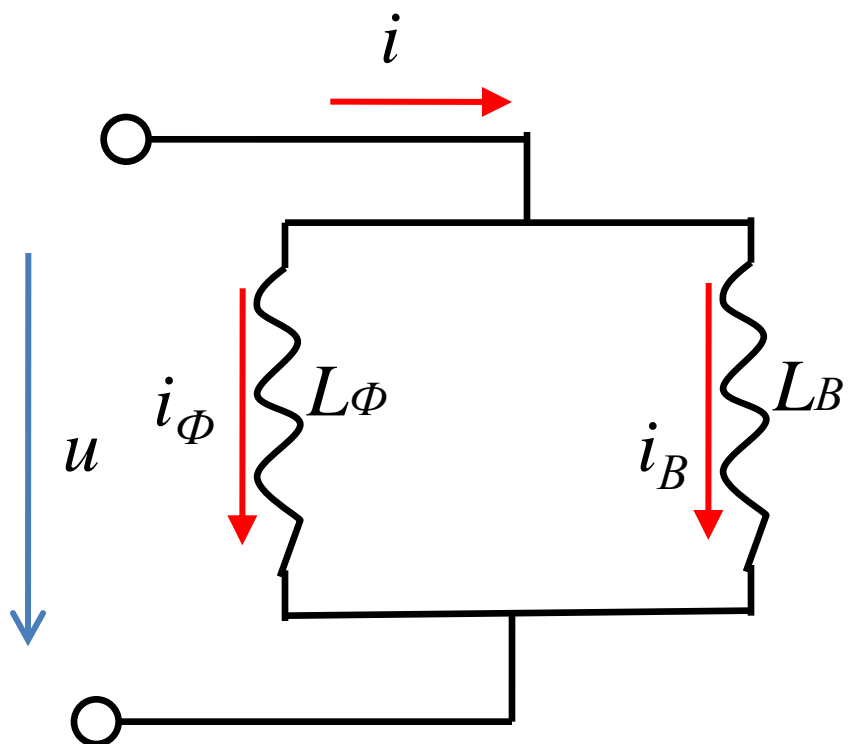
$$\sum H_i l_i = F$$

$$H_{\Phi} l_{\Phi} + H_B l_B = w i \qquad \frac{B}{\mu} l_{\Phi} + \frac{B}{\mu_0} l_B = w i$$

$$i = U_m \frac{\left(\frac{l_{\Phi}}{S\mu} + \frac{l_B}{S\mu_0} \right)}{\omega w^2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$i = U_m \frac{(R_{\Phi} + R_B)}{\omega w^2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Лекция №14 Магнитные цепи



Лекция №14 Магнитные цепи

$$\underline{I} = -j\underline{U} \frac{(R_{\Phi} + R_B)}{\omega w^2}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_{\Phi} + \underline{I}_B = -j\underline{U} \frac{R_{\Phi}}{\omega w^2} - j\underline{U} \frac{R_B}{\omega w^2} =$$

$$\underline{I} = -j \frac{\underline{U}}{X_{L\Phi}} - j \frac{\underline{U}}{X_{LB}}$$

Лекция №14 Магнитные цепи

Эквивалентная индуктивность – индуктивность такой катушки без сердечника, реактивное сопротивление которой равно реактивному сопротивлению катушки с сердечником.

Лекция №14 Магнитные цепи

$$X = \frac{U}{I} = \frac{\omega w^2}{(R_{\Phi} + R_B)} = L_{\text{ЭК}} \omega$$

$$L_{\text{ЭК}} = \frac{w^2}{(R_{\Phi} + R_B)}$$

$$R_B \gg R_{\Phi} \Rightarrow L_{\text{ЭК}} = \frac{w^2}{R_B} = \frac{w^2 S \mu_0}{l_B}$$

Лекция 14

Магнитные цепи.

Параграф 6.3-6.5 учебника