

# ELEKTROTECHNICKÝ TAHÁK - 4

## MAGNETICKÉ OBVODY

### 1) ZÁKLADNÍ VELIČINY A JEDNOTKY

veličina	značka	základní jednotka	jednotky používané v technické praxi
magnetické napětí <sup>*1)</sup>	$F_m$	[A] ampér	Az (ampéřzávit)
magnetický indukční tok	$\Phi$	[Wb] weber	Wb
magnetický odpor	$R_m$	[1/H]	1/H
magnetická vodivost	$\Gamma$	[H] henry	H
permeabilita vakua	$\mu_0$	[H/m] henry na metr	$4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m <sup>*2)</sup>
relativní permeabilita	$\mu_r$	[-]	
magnetická indukce	B	[T] tesla	T, mT
intenzita magnetického pole	H	[A/m] ampér na metr	A/m
vlastní indukčnost	L	[H] henry	H, mH, $\mu$ H
vzájemná indukčnost	M	[H] henry	H, mH, $\mu$ H
délka siločáry	$l_s$ <sup>*3)</sup>	[m] metr	cm

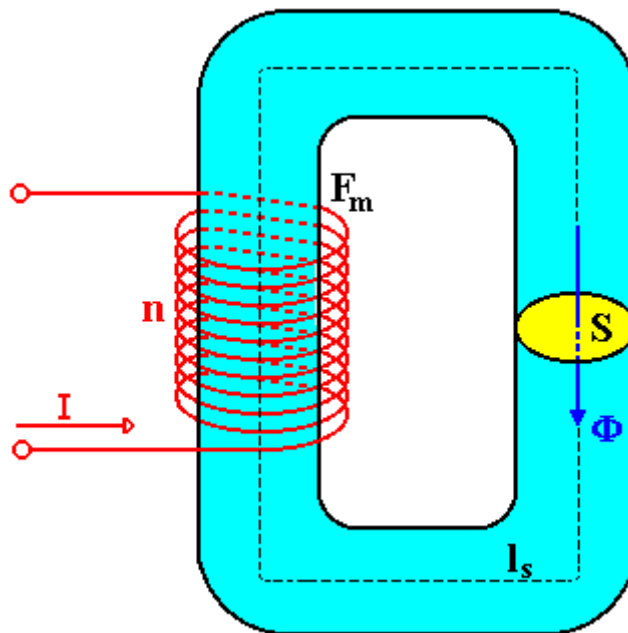
#### Poznámky:

<sup>\*1)</sup> v praxi a ve starší literatuře se používají i pojmy **magnetomotorické napětí** ( $F_m$ ,  $\mathcal{M}$ ) a **magnetomotorická síla** (MMS).

<sup>\*2)</sup> v literatuře a v tabulkách se zpravidla uvádí i hodnota  $1,257 \cdot 10^{-6}$  H/m.

<sup>\*3)</sup> při výpočtech magnetických obvodů se délka siločáry obvykle označuje indexem prostředí, kterým siločára prochází, např.  $l_{Fe}$  pro železové jádro a  $l_v$  ( $l_{vzd}$ ) pro vzduchovou mezeru. Pro šířku vzduchové mezery se v praxi často používá i označení **d**.

## 2) ZÁKLADNÍ ZÁKON MAGNETICKÝCH OBVODŮ



Hopkinsonův zákon:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

Magnetický indukční tok  $\Phi$  v magnetickém obvodu je přímo úměrný magnetomotorickému napětí  $F_m$  a nepřímo úměrný magnetickému odporu  $R_m$  magnetického obvodu.

magnetomotorické napětí

$$F_m = n \cdot I$$

Poznámka:

Fyzikální jednotkou magnetomotorického napětí je ampér [A].  
Jednotkou magnetomotorického napětí, která se běžně používá v technické praxi je **ampérvíť [Az]**.  
Důvodem je rozlišení elektrického proudu v elektrických obvodech a magnetomotorického napětí v obvodech magnetických.

### 3) ZÁKLADNÍ VZTAHY PRO VÝPOČTY

magnetomotorické napětí, magnetický indukční tok,  
magnetický odpor (Hopkinsonův zákon)

$$F_m = R_m \cdot \Phi \quad (3.1a)$$

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad (3.1b)$$

$$R_m = \frac{F_m}{\Phi} \quad (3.1c)$$

magnetický odpor, magnetická vodivost

$$\Gamma = \frac{1}{R_m} \quad (3.2a)$$

$$R_m = \frac{1}{\Gamma} \quad (3.2b)$$

magnetický odpor [1/H; m, H/m, -, m<sup>2</sup>]

$$R_m = \frac{l_s}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S} \quad (3.3a)$$

magnetický odpor [1/H; cm, H/m, -, cm<sup>2</sup>]

$$R_m = \frac{100 \cdot l_s}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S} \quad (3.3b)$$

absolutní permeabilita

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (3.4)$$

magnetomotorické napětí

$$F_m = n \cdot I \quad (3.5)$$

magnetická indukce -magnetický indukční tok

$$\Phi = \int_S \bar{B} \cdot d\bar{S} \quad (3.6a)$$

$$\bar{B} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (3.6b)$$

Poznámka:

Pro magnetické obvody, kde je magnetická indukce v průřezu stálá, je v technické praxi:

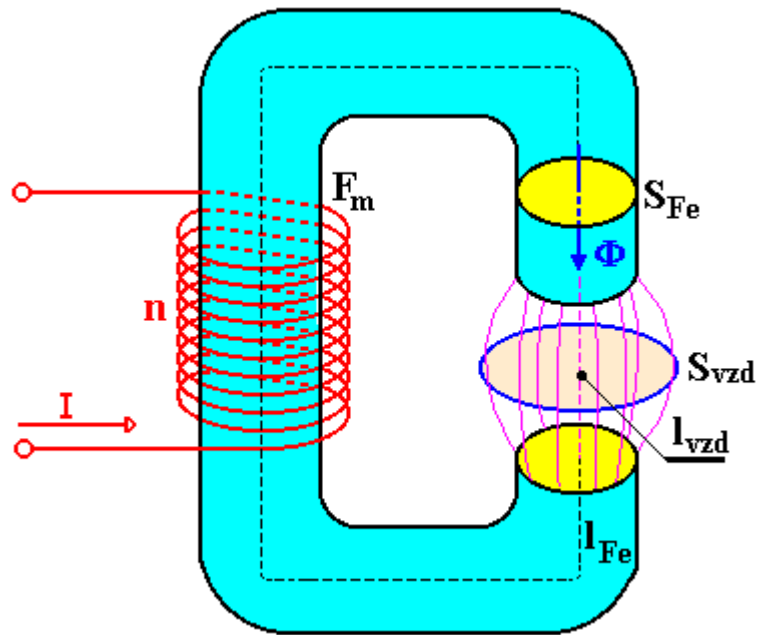
magnetický indukční tok [Wb; T, cm<sup>2</sup>]

$$\Phi = \frac{B \cdot S}{10\,000} \quad (3.6c)$$

magnetická indukce [T; Wb, cm<sup>2</sup>]

$$B = \frac{10\,000 \cdot \Phi}{S} \quad (3.6d)$$

#### 4) MAGNETICKÝ OBVOD SE VZDUCHOVOU MEZEROU



**Poznámka:**

**Pozor! Ve vzorcích (4.x) se uvádí  $l_{Fe}$  v [cm],  $S_{Fe}$  v [cm<sup>2</sup>] a  $l_{vzd}$  v [mm]!**



magnetický odpor železového jádra

$$R_{Fe} = \frac{100 \cdot l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_{Fe}} \quad (4.1)$$

magnetický odpor vzduchové mezery

$$R_{vzd} = \frac{10 \cdot l_{vzd}}{\mu_0 \cdot S_{vzd}} \quad (4.2)$$

za  $S_{vzd}$  dosadíme

$$S_{vzd} = k \cdot S_{Fe} \quad (4.3)$$

kde k je tzv. činitel rozptylu

po dosazení (4.3) do (4.2) dostaneme

$$R_{vzd} = \frac{10 \cdot l_{vzd}}{\mu_0 \cdot k \cdot S_{Fe}} \quad (4.4)$$

celkový magnetický odpor

$$R_m = R_{Fe} + R_{vzd} \quad (4.5)$$

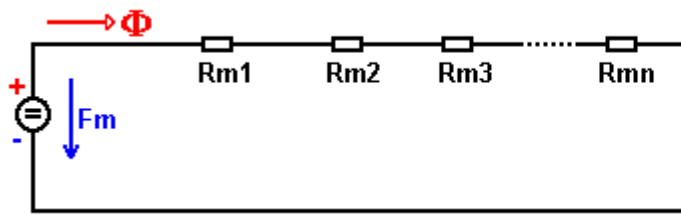
po dosazení (4.1) a (4.4) do (4.5)

$$R_m = \frac{100 \cdot l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_{Fe}} + \frac{10 \cdot l_{vzd}}{\mu_0 \cdot k \cdot S_{Fe}} \quad (4.6)$$

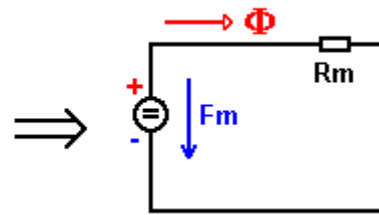
a po úpravě

$$R_m = \frac{100}{\mu_0 \cdot S_{Fe}} \cdot \left( \frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \frac{0,1 \cdot l_{vzd}}{k} \right) \quad (4.7)$$

#### 4.1) SÉRIOVÉ ŘAZENÍ MAGNETICKÝCH ODPORŮ



Obr. 4.1 - Sériové řazení magnetických odporů



Obr. 4.2 - Náhrada výsledným magnetickým odporem

magnetický tok  $\Phi$  prochází všemi magnetickými odpory

$$F_m = \Phi \cdot R_{m1} + \Phi \cdot R_{m2} + \Phi \cdot R_{m3} + \dots + \Phi \cdot R_{mn} \quad (4.8)$$

podle obr. 4.2

$$F_m = \Phi \cdot R_m \quad (3.1a)$$

po úpravě (4.8)

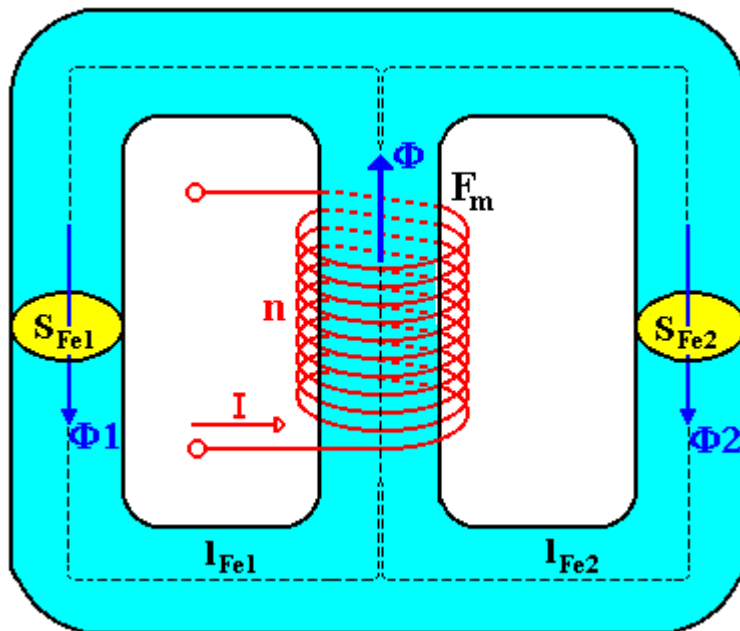
$$F_m = \Phi \cdot (R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} + \dots + R_{mn}) \quad (4.9)$$

porovnáním rovnic (4.9) a (3.1a) a po zkrácení  $\Phi$

$$R_m = R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} + \dots + R_{mn} \quad (4.10)$$

$$R_m = \sum_{i=1}^n R_{mi} \quad (4.11)$$

## 5) SLOŽENÝ MAGNETICKÝ OBVOD



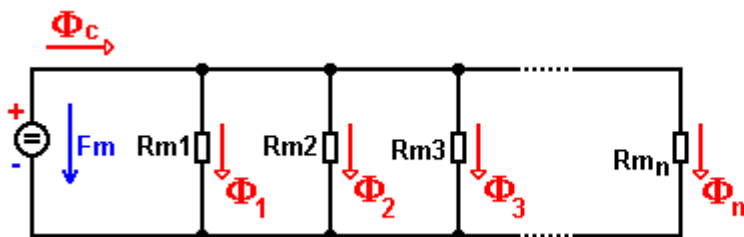
výchozí předpoklady

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (5.1)$$

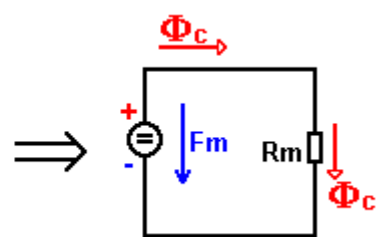
$$S_{Fe} = S_{Fe1} + S_{Fe2} \quad (5.2)$$

kde  $S_{Fe}$  je průřez středního sloupku

### 5.1) PARALELNÍ ŘAZENÍ MAGNETICKÝCH ODPORŮ



Obr. 5.1 - Paralelní řazení magnetických odporů



Obr. 5.2 - Náhrada výsledným magnetickým odporem

celkový magnetický tok  $\Phi_c$  se dělí do jednotlivých magnetických obvodů

podle Hopkinsonova zákona platí

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad (3.1b)$$

dosazením do (5.1)

$$\Phi_c = \frac{F_m}{R_{m1}} + \frac{F_m}{R_{m2}} + \frac{F_m}{R_{m3}} + \dots + \frac{F_m}{R_{mn}} \quad (5.3)$$

porovnáním (5.3) a (3.1)

$$\frac{F_m}{R_{m1}} + \frac{F_m}{R_{m2}} + \frac{F_m}{R_{m3}} + \dots + \frac{F_m}{R_{mn}} = \frac{F_m}{R_m} \quad (5.4)$$

po zkrácení  $F_m$  a úpravě

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_{m1}} + \frac{1}{R_{m2}} + \frac{1}{R_{m3}} + \dots + \frac{1}{R_{mn}} \quad (5.5)$$

s využitím magnetické vodivosti (3.2a)

$$\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \dots + \Gamma_n \quad (5.6)$$

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n \Gamma_i \quad (5.7)$$

$$R_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \Gamma_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{mi}}} \quad (5.8)$$

**Poznámka:**

Z rovnice (5.5) lze pro dva paralelně řazené magnetické odpory odvodit vztah


$$R_m = \frac{R_{m1} \cdot R_{m2}}{R_{m1} + R_{m2}} \quad (5.9)$$

a na závěr (bez odvození)

**6) NOSIVOST (PŘITAŽLIVÁ SÍLA) ELEKTROMAGNETU**

elektromagnet s uzavřeným magnetickým obvodem a dvěma vzduchovými mezerami

[N; H/m, cm<sup>2</sup>, -, A, cm, mm, -, -]

$$F = \frac{2 \cdot S_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2}{\left( \frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \frac{0,2 \cdot d}{k} \right)^2} \quad (6.1)$$


elektromagnet s otevřeným magnetickým obvodem a jednou vzduchovou mezerou

[N; H/m, cm<sup>2</sup>, -, A, cm, mm, -, -]

$$F = \frac{S_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2}{\left( \frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \frac{0,1 \cdot d}{k} \right)^2} \quad (6.2)$$
