ELEKTROTECHNICKÝ TAHÁK - 4
MAGNETICKÉ OBVODY

1) ZÁKLADNÍ VELIČINY A JEDNOTKY

veličina	značka	základní jednotka	jednotky používané v technické praxi
magnetické napětí *1)	F_m	[A] ampér	Az (ampérzávit)
magnetický indukční tok	Φ	[Wb] weber	Wb
magnetický odpor	R_m	[1/H]	1/H
magnetická vodivost	Γ	[H] henry	H
permeabilita vakua	μ_0	[H/m] henry na metr	$4\pi.10^{-7}$ H/m *2)
relativní permeabilita	μ_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, μH
vzájemná indukčnost	M	[H] henry	H, mH, μH
délka siločáry	l_s *3)	[m]	cm

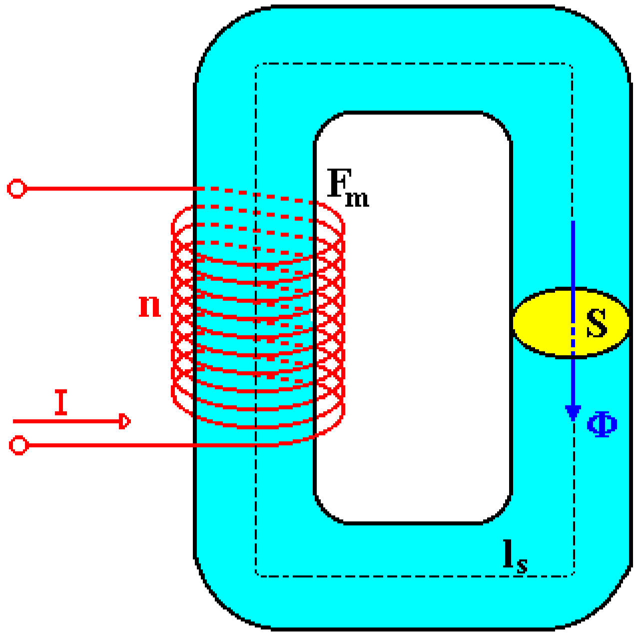
Poznámky:

*1) v praxi a ve starší literatuře se používají i pojmy **magnetomotorické napětí (*F_m*, ℳ)** a **magnetomotorická síla (*MMS*)**.

*2) v literatuře a v tabulkách se zpravidla uvádí i hodnota **$1{,}257\cdot10^{-6}$ H/m**

3) 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:

$$\boxed{\Phi = \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}}}} \qquad (1)$$

Magnetický indukční tok Φ v magnetickém obvodu je přímo úměrný magnetomotorickému napětí F_{m} a nepřímo úměrný magnetickému odporu R_{m} magnetického obvodu.

magnetomotorické napětí $$F_{\mathrm{m}} = \mathrm{n} \cdot I \qquad (2)$$

Poznámka:
Fyzikální jednotkou magnetomotorického napětí je ampér [A].

Jednotkou magnetomotorického napětí, která se běžně používá v technické praxi je **ampérzávit [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) $$F_{\mathrm{m}} = R_{\mathrm{m}} \cdot \Phi \qquad (3.1a)$$

$$\Phi = \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}}} \qquad (3.1b)$$

$$R_{\mathrm{m}} = \frac{F_{\mathrm{m}}}{\Phi} \qquad (3.1c)$$

magnetický odpor, magnetická vodivost $$\Gamma = \frac{1}{R_{\mathrm{m}}} \qquad (3.2a)$$

$$R_{\mathrm{m}} = \frac{1}{\Gamma} \qquad (3.2b)$$

magnetický odpor [1/H; m, H/m, -, m^2] $R_m = \frac{l_s}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S}$ (3.3a)

magnetický odpor $R_m = \frac{100 \cdot l_s}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S}$! [1/H; cm, H/m, -, cm^2] (3.3b)

absolutní permeabilita $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ (3.4)

magnetomotorické napětí $F_m = n \cdot I$ (3.5)

magnetická indukce -magnetický indukční tok

$$\Phi = \int_S \overline{B} \cdot d\overline{S} \qquad (3.6a)$$

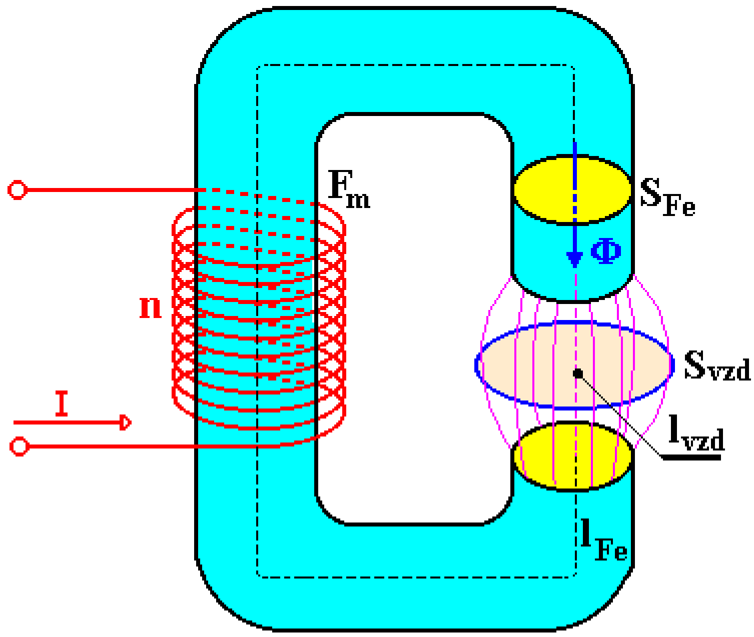
$$\overline{B} = \frac{d\Phi}{d\overline{S}} \qquad (3.6b)$$

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

magnetický indukční tok $\Phi = \frac{B \cdot S}{10\,000}$! [Wb; T, cm^2] (3.6c)

magnetická indukce $B = \frac{10\,000 \cdot \Phi}{S}$! [T; Wb, cm^2] (3.6d)

4) MAGNETICKÝ OBVOD SE VZDUCHOVOU MEZEROU



Poznámka:
Pozor! V rovnicích (4.x) se uvádí l_{Fe} v [cm], S_{Fe} v [cm^2] a l_{vzd} v [mm] !

magnetický odpor železového jádra $R_{Fe} = \frac{100 \cdot l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_{Fe}}$ (4.1) magnetický odpor vzduchové mezery $$R_{vzd} = \frac{10 \cdot l_{vzd}}{\mu_0 \cdot S_{vzd}} \qquad (4.2)$$

za S_{vzd} dosadíme $$S_{vzd} = \alpha \cdot S_{Fe}$$

kde α je tzv. činitel rozptylu

po dosazení (4.3) do (4.2) dostaneme $$R_{vzd} = \frac{10 \cdot l_{vzd}}{\mu_0 \cdot \alpha \cdot S_{Fe}} \qquad (4.4)$$

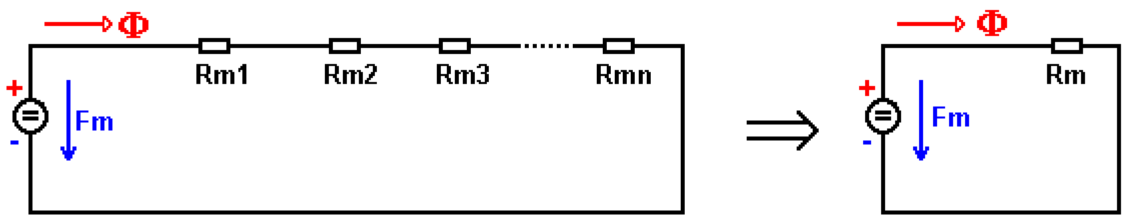
celkový magnetický odpor $$R_m = R_{Fe} + R_{vzd} \qquad (4.5)$$

po dosazení (4.1) a (4.4) do (4.5)

$$R_{tt} = \frac{100 \cdot l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_{Fe}} + \frac{10 \cdot l_{vzd}}{\mu_0 \cdot \alpha \cdot S_{Fe}} \qquad (4.6)$$

a po úpravě $$R_{tt} = \frac{100}{\mu_0 \cdot S_{Fe}} \cdot \left(\frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \frac{0{,}1 \cdot l_{vzd}}{\alpha} \right) \qquad (4.7)$$

4.1) SÉRIOVÉ ŘAZENÍ MAGNETICKÝCH ODPORŮ



Obr.4.1 Sériové řazení magnetických odporů a náhrada výsledným magnetickým odporem

magnetický tok Φ prochází všemi magnetickými odpory

$$F_m = \Phi \cdot R_{m_1} + \Phi \cdot R_{m_2} + \Phi \cdot R_{m_3} + \ldots + \Phi \cdot R_{m_n} \qquad (4.8)$$

podle obr. 4.2 $$F_m = \Phi \cdot R_m \qquad (3.1a)$$

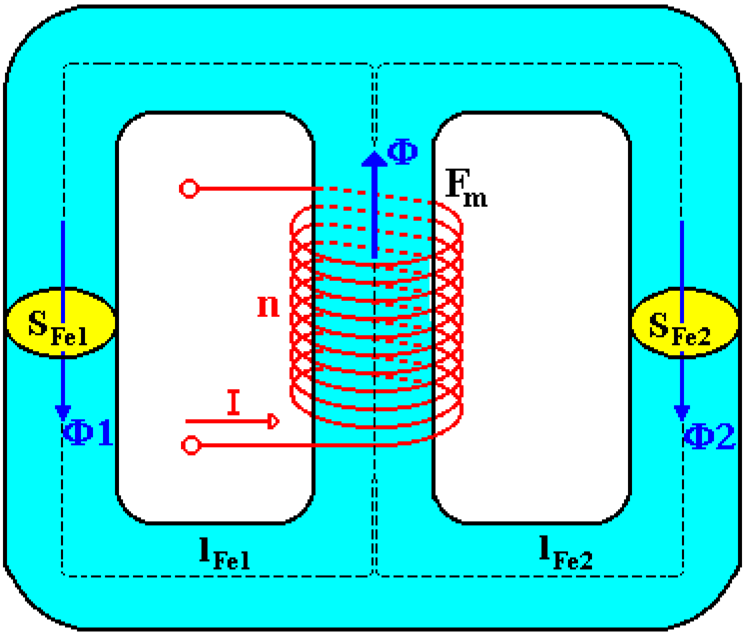
po úpravě (4.8) $$F_m = \Phi \cdot \left(R_{m_1} + R_{m_2} + R_{m_3} + \ldots + R_{m_n} \right) \qquad (4.9)$$

porovnáním rovnic (4.9) a (3.1a) a po zkrácení Φ

$$\boxed{R_m = R_{m_1} + R_{m_2} + R_{m_3} + \ldots + R_{m_n}} \qquad (4.10)$$

$$\boxed{R_m = \sum_{i=1}^{n} R_{m_i}} \qquad (4.11)$$

5) SLOŽENÝ MAGNETICKÝ OBVOD

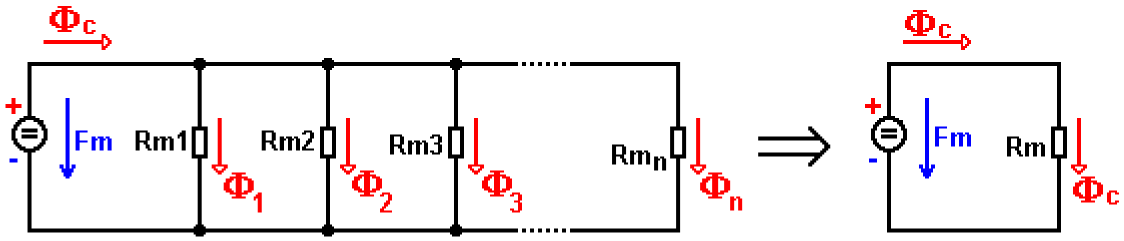


výchozí předpoklady $$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 \tag{5.1}$$

$$S_{\mathrm{Fe}} = S_{\mathrm{Fe}_1} + S_{\mathrm{Fe}_2} \tag{5.2}$$

kde S_{Fe} je průřez středního sloupku

5.1) PARALELNÍ ŘAZENÍ MAGNETICKÝCH ODPORŮ



Obr.5.1 Paralelní řazení magnetických odporů a náhrada výsledným magnetickým odporem

celkový magnetický tok Φ_{c} se dělí do jednotlivých magnetických obvodů

podle Hopkinsonova zákona platí $$\Phi = \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}}} \tag{3.1b}$$

dosazením do (5.1) $$\Phi_{\mathrm{c}} = \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_1}} + \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_2}} + \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_3}} + \ldots + \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_\mathrm{n}}} \tag{5.3}$$

porovnáním (5.3) a (3.1) $$\frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}}} = \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_1}} + \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_2}} + \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_3}} + \ldots + \frac{F_{\mathrm{m}}}{R_{\mathrm{m}_\mathrm{n}}} \tag{5.4}$$

po zkrácení F_{m} a úpravě $$\boxed{\frac{1}{R_{\mathrm{m}}} = \frac{1}{R_{\mathrm{m}_1}} + \frac{1}{R_{\mathrm{m}_2}} + \frac{1}{R_{\mathrm{m}_3}} + \ldots + \frac{1}{R_{\mathrm{m}_\mathrm{n}}}} \tag{5.5}$$

s využitím magnetické vodivosti (3.2a)

$$\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \ldots + \Gamma_n \tag{5.6}$$

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{n} \Gamma_i \tag{5.7}$$

$$R_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \Gamma_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_{m_i}}} \tag{5.8}$$

Poznámka:
Z rovnice (5.5) lze pro dva paralelně řazené magnetické odpory odvodit rovnici

$$R_m = \frac{R_{m_1} \cdot R_{m_2}}{R_{m_1} + R_{m_2}} \tag{5.9}$$

a na závěr (bez odvození)

6) NOSIVOST (PŘITAŽLIVÁ SÍLA) ELEKTROMAGNETU

elektromagnet s uzavřeným magnetickým obvodem a dvěma vzduchovými mezerami

[N; H/m, cm^2, -, A, cm, mm, -, -] $$F = \frac{2 \cdot S_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2}{\left(\frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \frac{0{,}2 \cdot d}{\alpha} \right)^2} \tag{6.1}$$ **!**

elektromagnet s otevřeným magnetickým obvodem a jednou vzduchovou mezerou

[N; H/m, cm^2, -, A, cm, mm, -, -] $$F = \frac{S_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2}{\left(\frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \frac{0{,}1 \cdot d}{\alpha} \right)^2} \tag{6.2}$$ **!**