

A1B14SP1

ELEKTRICKÉ STROJE A PŘÍSTROJE 1

3+2 z,zk

Doc. Ing. Petr Voženílek , CSc.	2 2435 2135	T2:B3- 257
Doc. Ing. Vladimír Novotný , CSc.	2 2435 2150	T2:B3-247
Doc. Ing. Pavel Mindl , CSc.	2 2435 2150	T2:B3-247

ZÁKLADNÍ LITERATURA:

L1: Voženílek, P., Novotný, V., Mindl, P.:

Elektromechanické měniče; ČVUT Praha, 2015

L2: Voženílek, P., Mindl, P., Novotný, V.:

Elektromechanické měniče - cvičení; ČVUT Praha, 2011

L3: www.motor.feld.cvut.cz / *studijní materiály / b151/A1B14SP1/*

L4: Měřička, J., Hamata, V., Voženílek, P.: *Elektrické stroje*; ČVUT Praha, 1997

L5: *Záznamy z přednášek*

LABORATOŘE:

T2: H1 – **26**

T2: E1 – **108**

ZKOUŠKA:

- přínos z cvičení

28 bodů

- ústní zkouška

4 X 18 = **72** bodů

VÝSLEDNÉ HODNOCENÍ

max. 100 bodů = A - výborně

Elektrické stroje a přístroje 1

Základní pojmy a fyzikální vztahy

Stroj - zařízení na přeměnu energie

Přeměna energie je doprovázena vznikem ztrát

Vstupní energie = Výstupní energie + Ztrátová energie

Účinnost stroje

$$\eta = \frac{\text{Výstupní energie}}{\text{Vstupní energie}} = \frac{\text{Výstupní výkon}}{\text{Vstupní výkon}}$$

Elektrický stroj

- zařízení na elektromechanickou přeměnu energie
na principu elektromagnetické indukce

Motory

Elektrická energie → mechanickou

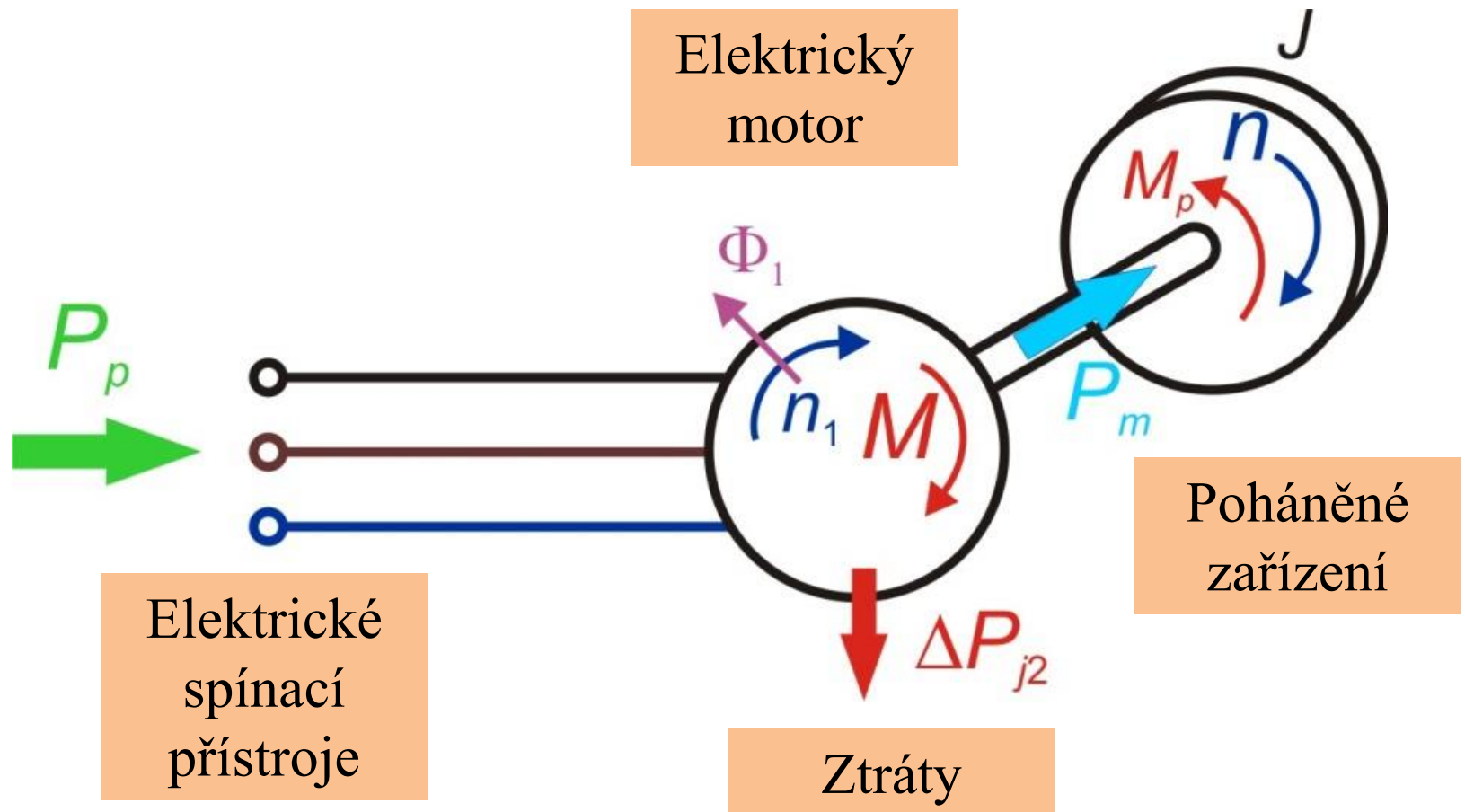
Generátory

Mechanická energie → elektrickou

Transformátory resp. měniče

Elektrická energie →
→ elektrickou jiných parametrů

Komponenty elektrického pohonu



Fyzikální vztahy v elektromagnetickém poli matematicky popisují
Maxwellovy rovnice,
doplněné o vztahy v magnetickém a elektrickém poli.

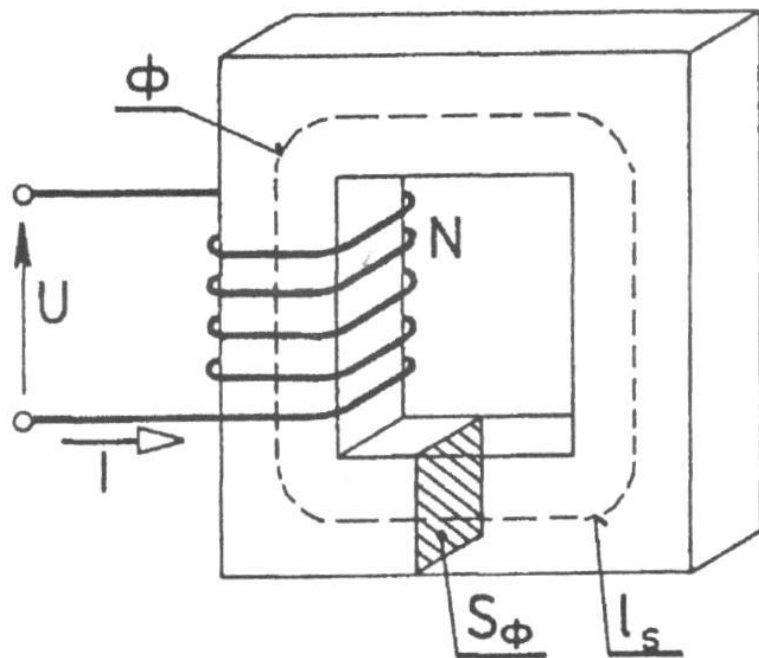
$$B = \mu \cdot H \quad , \quad J = \gamma \cdot E \quad ,$$

kde B - magnetická indukce (T), H - intenzita magnetického pole ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$)
 J - proudová hustota ($\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$), E - intenzita elektrického pole ($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$)
 γ - měrná vodivost ($\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), μ - magnetická permeabilita prostředí ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

kde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$) a μ_r - relativní permeabilita prostředí.

Magnetický obvod



$$\oint_{l_s} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum \vec{I} = \vec{F}_m$$

\vec{I} – vektor proudu

F_m – magnetomotorické napětí

Pro $H = \text{konst.}$ platí:

$$F_m = H \cdot l_s = N \cdot I$$

Pro $B = \text{konst.}$ platí:

$$\Phi = B \cdot S_\Phi$$

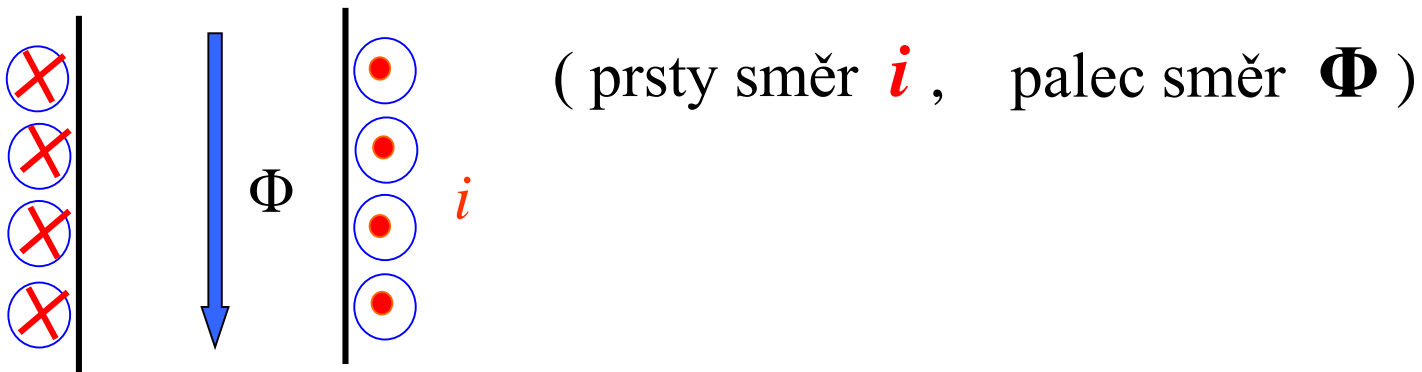
$$F_m = \Phi \cdot R_m$$

$$H \cdot l_s = H \cdot \mu S_\Phi \cdot \frac{l_s}{\mu S_\Phi} \rightarrow$$

Hopkinsonův zákon

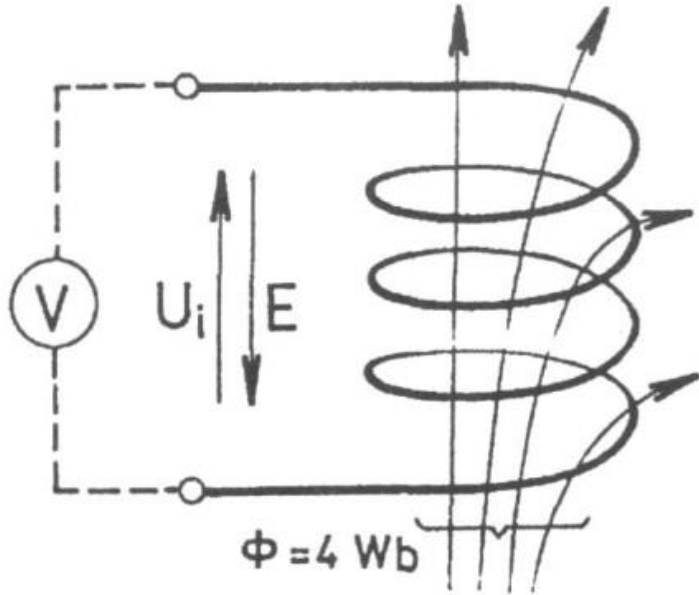
Platí pro: $H = \text{konst.}$, $B = \text{konst.}$, $\mu_{\text{Fe}} \gg \mu_\delta$

Směr magnetického toku v cívce – pravidlo pravé ruky



Elektromagnetická indukce

2. Maxwellova rovnice – indukční zákon



Elektromotorické napětí

$$\oint E \cdot dl = - \frac{d\Psi}{dt} = e = - u_i$$

Sprážený magnetický tok Ψ pro obr.:

$$\Psi = 2 \text{ Wb} \cdot 4z + 1 \text{ Wb} \cdot 3z + 1 \text{ Wb} \cdot 1z = 12 \text{ Wb}$$

Diferenciál spráženého toku lze zapsat v parciální formě

$$d\Psi = \frac{\partial\Psi}{\partial t} \cdot dt + \frac{\partial\Psi}{\partial x} \cdot dx$$

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} = - \left(\frac{\partial\Psi}{\partial t} + \frac{\partial\Psi}{\partial x} \cdot v \right)$$

e - vzniká **časovou změnou** spráženého magnetického toku (transformační napětí) a **prostorovou změnou** magnetického pole rychlostí **v** (pohybové či rotační napětí)

Elektromotorické napětí \mathbf{e}

je vnitřní napětí, které udržuje polaritu svorek a je dáno vektorovým součinem

$$\vec{e} = \vec{v} \times \vec{B}$$

Indukované napětí u_i

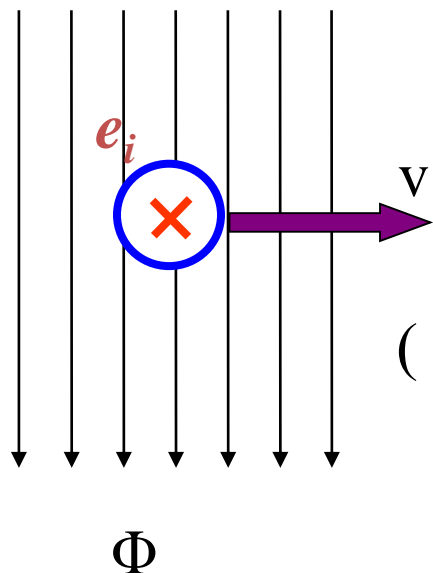
je napětí měřené vnějším měřicím obvodem na svorkách a má tedy opačné znaménko než \mathbf{e} .

$$u_i = -e$$

Pohybové napětí (rotační) indukované v jednom vodiči o délce l , pohybujícím se v konstantním magnetickém poli $\Phi = B \cdot S$, kde platí:

$$\delta\Psi/\delta t = 0 \quad a \quad \delta\Psi = B \cdot l \cdot \delta x$$

$$-e = u_i = B \cdot l \cdot v$$



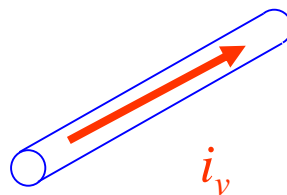
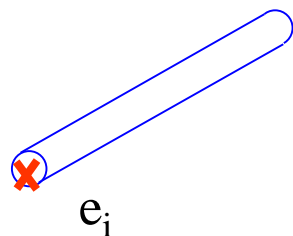
„ $e_i = B.l.v$ „ - pravidlo pravé ruky

(siločáry do dlaně, palec pohyb, prsty směr e_i)

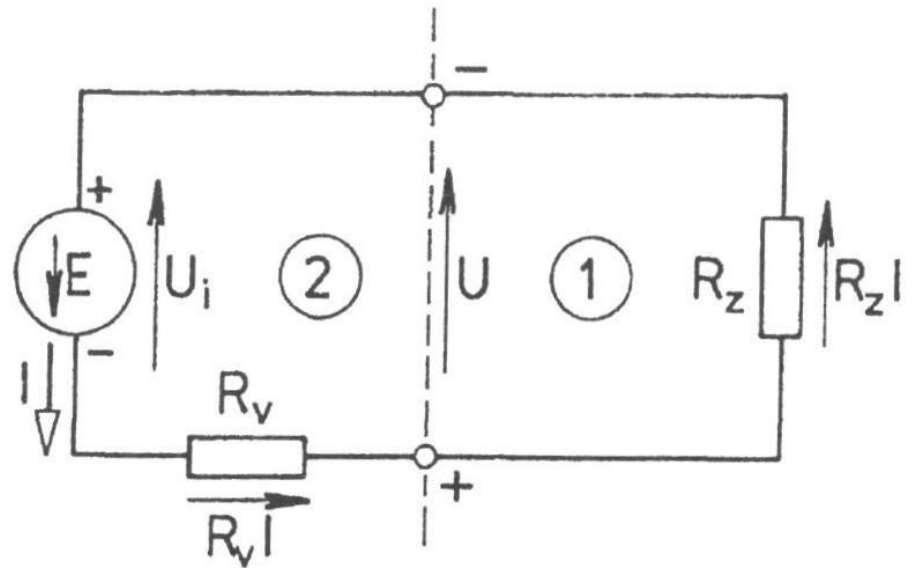
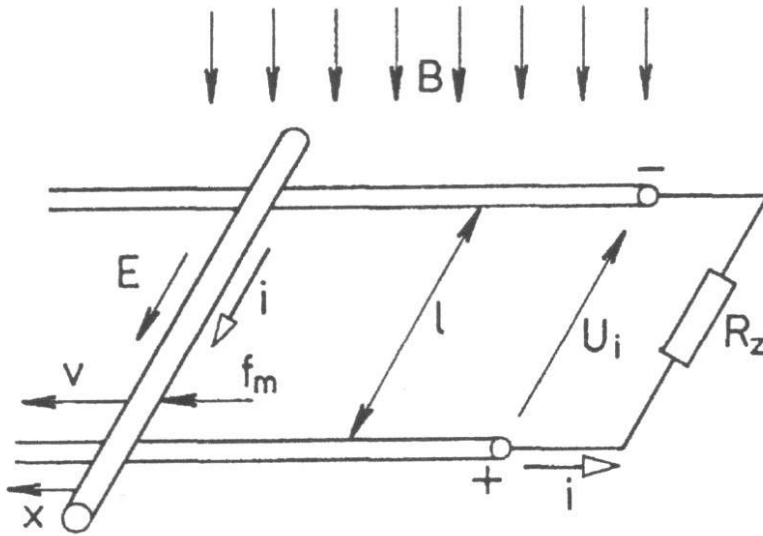
e_i – elektromotorické napětí

u_i – indukované napětí (opačný směr)

→ snaží se vyvolat



Vztahy v elektromagnetickém poli



$$U - R_z I = 0 \quad \rightarrow \quad U = R_z I$$

$$U_i - U - R_v I = 0 \quad \rightarrow \quad U = U_i - R_v I$$

Indukované napětí lze změřit na zdroji při chodu naprázdno.

Síla a moment v magnetickém poli

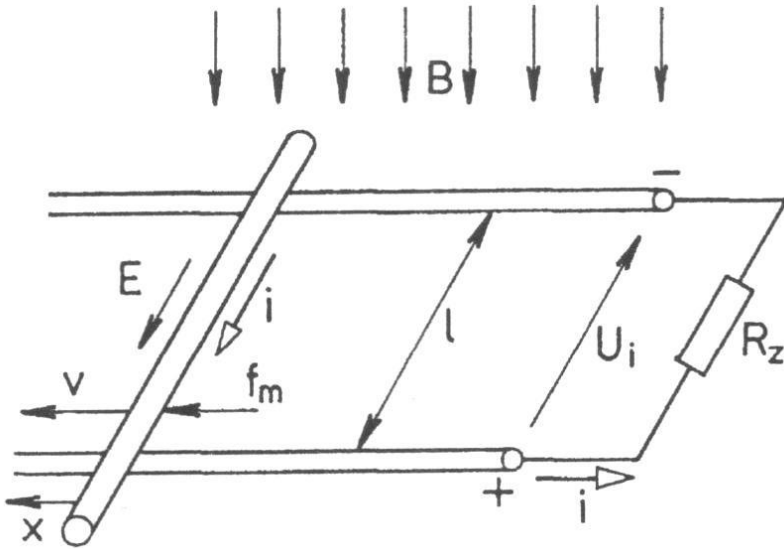
Síla působící na vodič:

$$f_m = -i \cdot \frac{d\Psi}{dx}$$

Na vodič délky l :

$$-f_m = B \cdot i \cdot l$$

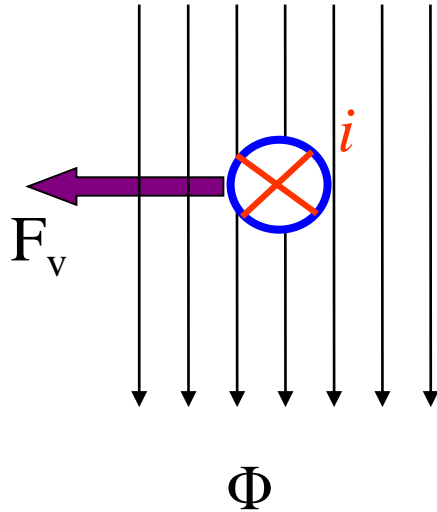
(snížení energie mag. pole)



Smysl síly dává vektorový součin:

$$\vec{F} = \vec{i} \times \vec{B}$$

Stejnoseměrné motory



Pravidlo levé ruky:

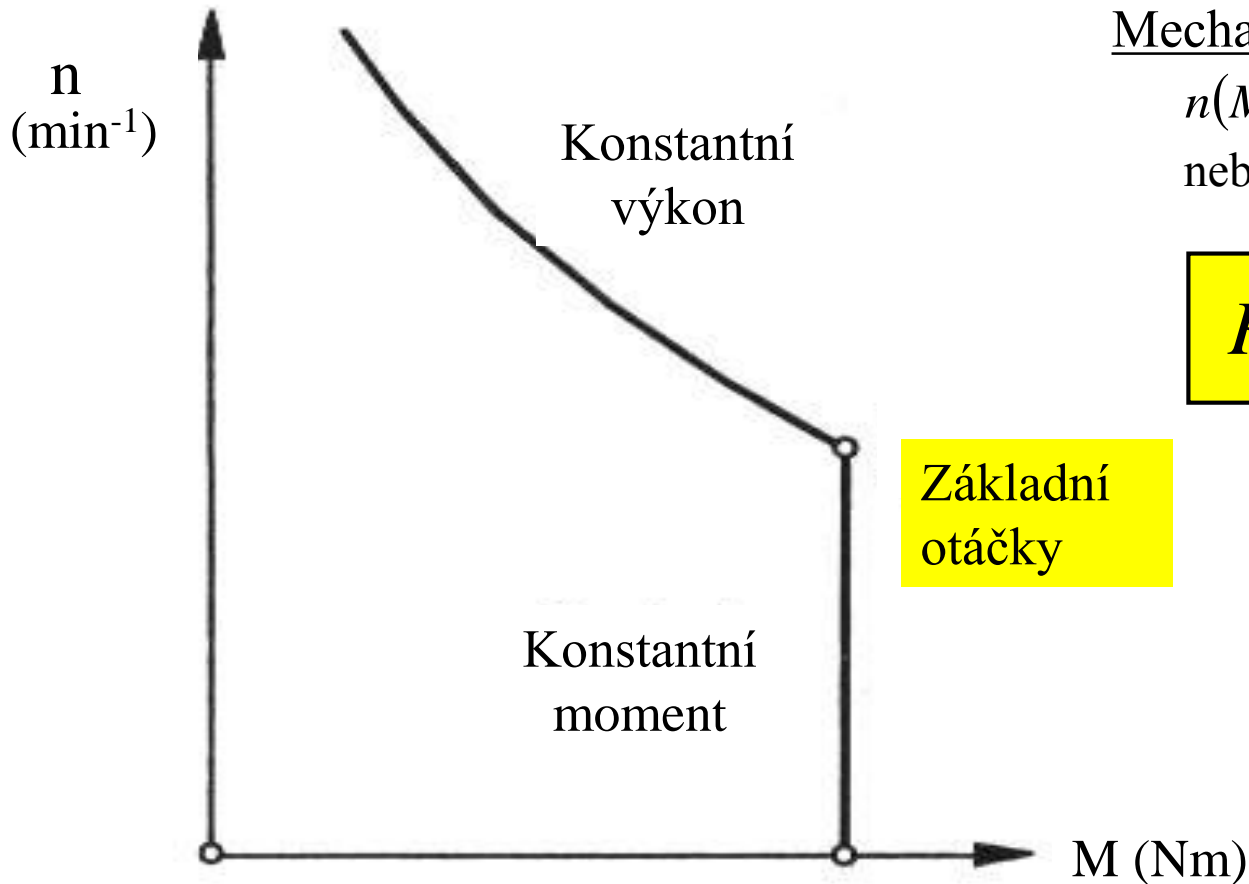
pole do dlaně, prsty směr proudu,
palec směr síly

Výběr poháněcího motoru

Výběr poháněcího motoru

Požadavky na pohon:

- shoda s národními a mezinárodními standardy
- maximální trvalý výkon nebo moment



Mechanická charakteristika

$n(M)$ při $I - \text{konst.}$,
neboť z mechaniky platí

$$P = M \cdot \omega$$

Základní
otáčky

Výběr poháněcího motoru

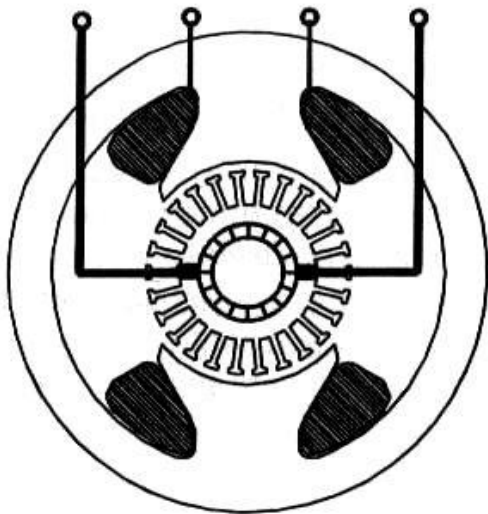
Požadavky na pohon:

- shoda s národními a mezinárodními standardy
- maximální trvalý výkon nebo moment
- změna smyslu otáčení, brzdění
- napájecí napětí a frekvence
- řízení otáček, polohy - přesnost
- požadavky na dynamiku
- převodovka
- mechanické a elektrické ochrany
- prostředí
- hlučnost

Motor musí splňovat kriteria

- elektromagnetická
- mechanická
- tepelná
- izolační
- ekonomická

Motory na stejnosměrný proud



s budicím vinutím

AC/DC univerzální motorky

Použití:

pohon domácích přístrojů a
přenosného nářadí

Výhody:

Při napájení proměnným napětím
ideální pro pohony s řízením
rychlosti a směru otáčení.

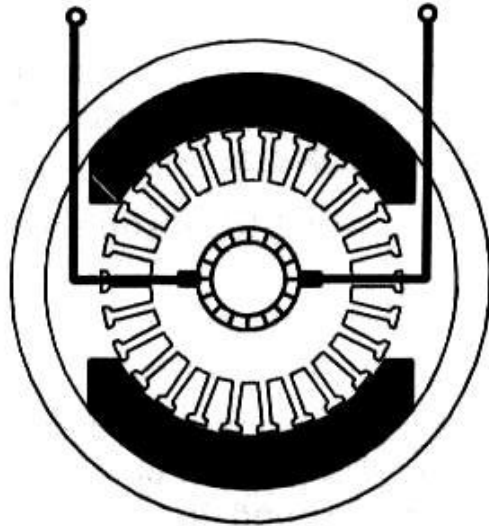
Nevýhody:

Komutace (komutátor) !!!
a odvod tepla z rotoru.

Použití:

Válcovací a těžní stroje, trakce, ...

Motory na stejnosměrný proud



s permanentními magnety

AC/DC univerzální motorky

Použití:

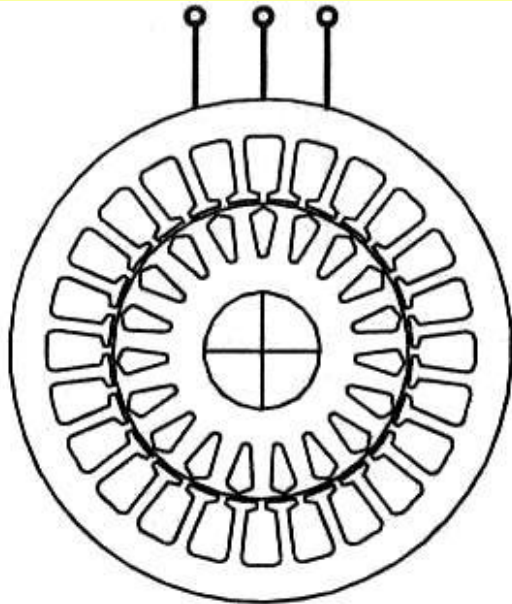
pohon domácích přístrojů a
přenosného nářadí

Použití:

Malé motory, zejména
pomocné pohony v automobilech

Motory na střídavý proud

Asynchronní motor



Uspořádání:

- s kotvou nakrátko, trojfázový
- s kotvou nakrátko, jednofázový
- s kotvou vinutou, trojfázový

Použití:

Pohony od kW do 20 MW.

Čerpadla, ventilátory, kompresory,
trakce a vše ostatní.

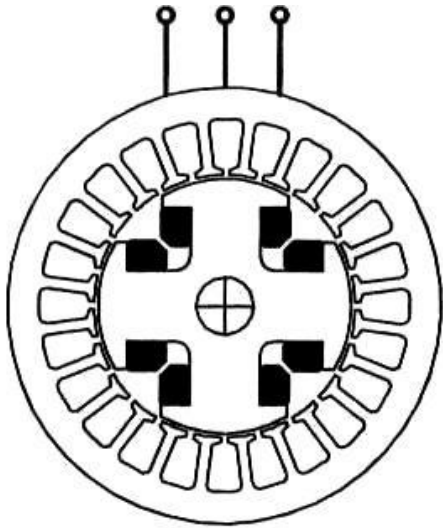
Vlastnosti:

Účinnost a účinník jsou u malých typových výkonů nízké.

Účinník značně klesá při snížení zatížení.

Řízení otáček napájením z měniče frekvence při $U_1 / f_1 = \text{konst.}$ nebo použitím skalárního či vektorového řízení po doplnění čidla polohy rotoru.

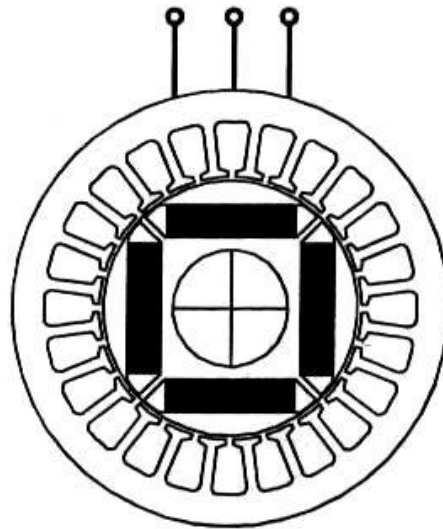
Synchronní motor



s budicím vinutím

Použití:

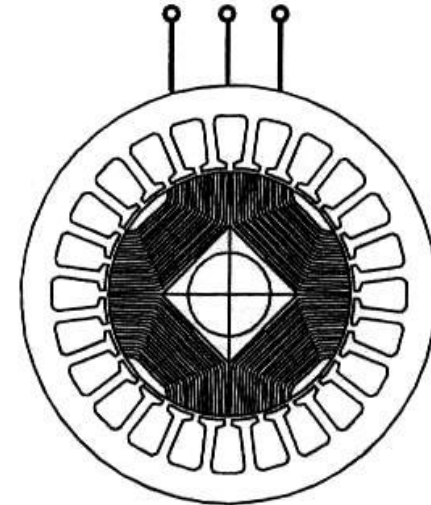
Kompresory velkých výkonů.
(kompenzace účinníku)



s permanentními magnety

Použití:

Pohony malých výkonů.



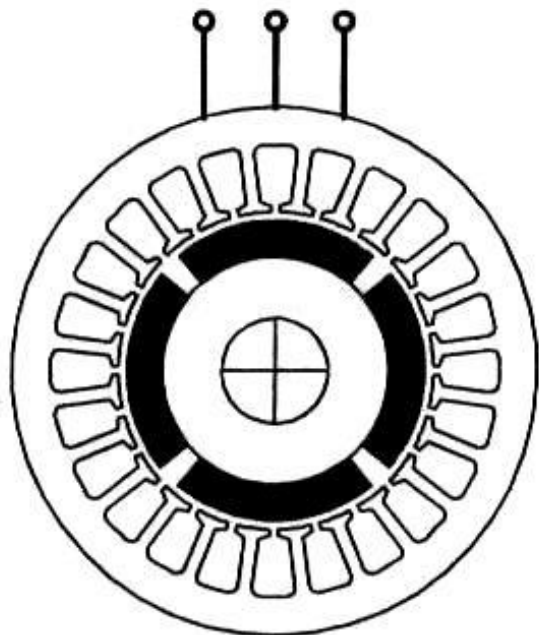
Reluktanční motor

Použití:

Speciální pohony.
(bez vinutí na rotoru)

Pulsně napájené motory

Bezkartáčový stejnosměrný motor



Napájení z invertoru pravoúhlými pulsy nebo vlnou sinusového tvaru.

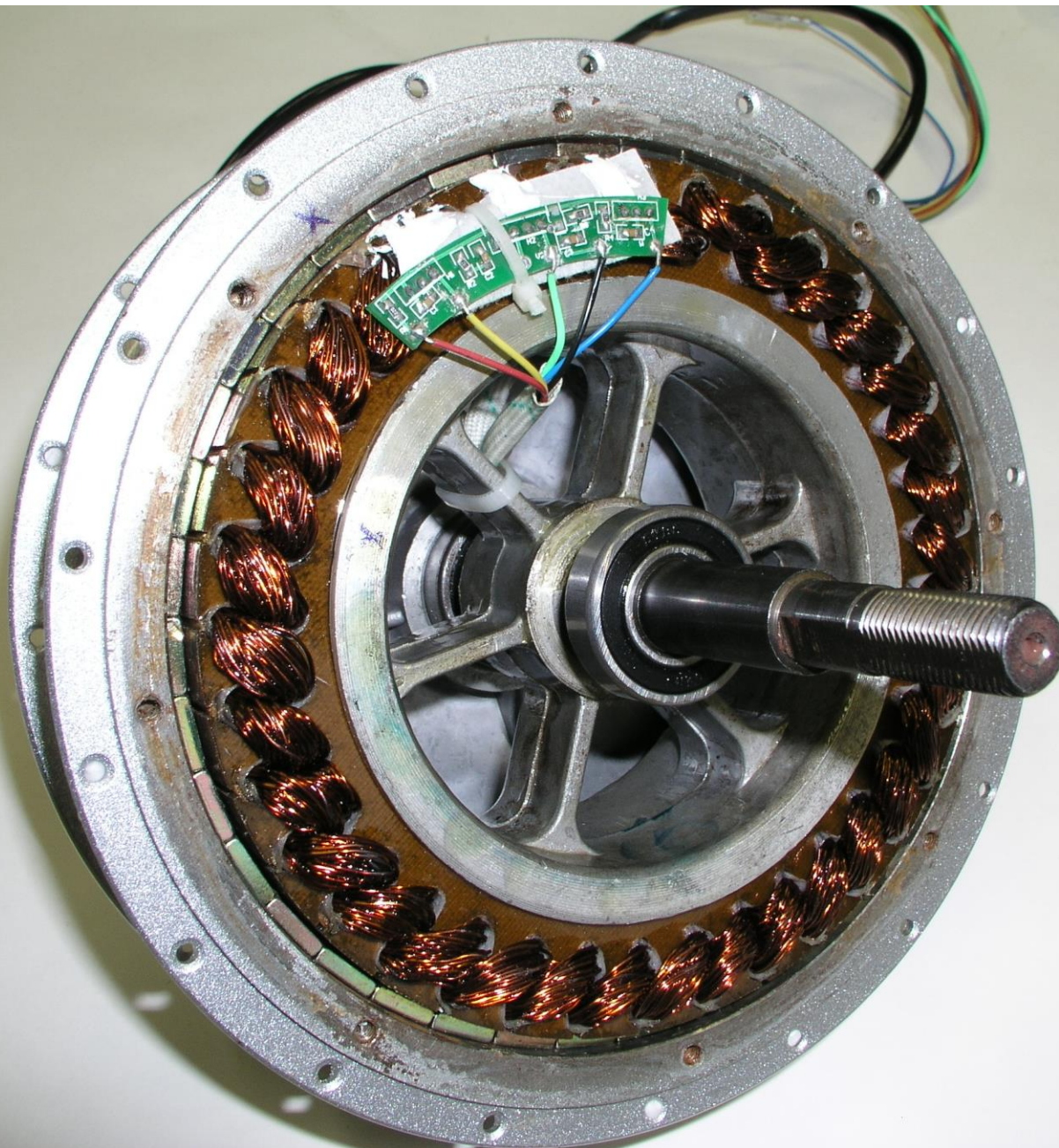
Použití:

Trakce a malé motorky pro automatizaci

Velmi často rotor vně statoru.

Magnety NdFeB.

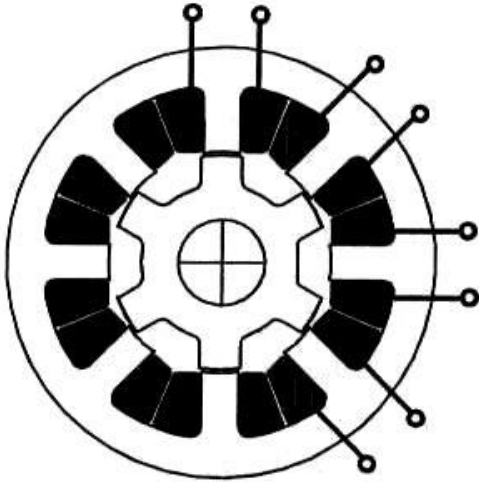
Obvykle se napájejí současně dvě fáze trojfázového vinutí. Přepínání se řídí dle polohy rotoru Halloými sondami.



Pomaluběžný s vnějším rotorem

- 40 pólů na rotoru
- 36 pólů na statoru
- 300 W
- 36 V
- 230 min⁻¹

Krokový motor



Pulsně napájený.

Rozdílný počet zubů ve statoru a rotoru.

Pohybuje se po krocích.

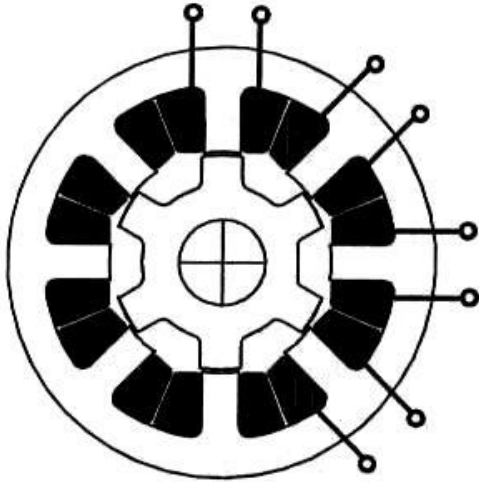
Nemá čidlo polohy.

Mohou být permanentní magnety na rotoru.

Použití:

Malé motorčky pro automatizaci ve spojení s digitální technikou.

Spínaný reluktanční motor



Rozdílný počet zubů ve statoru a rotoru.
Napájecí pulsy jsou řízené a
synchronizované s polohou rotoru.

Použití:

Malé výkony a vysoké otáčky.

Nevýhodou jsou pulsační momenty a tím
zvýšená hlučnost.