

Elektronické systémy automobilov: Akčné členy elektrických a neelektrických veličín. Elektromagnet, Elektromotor

Igor Béla
Ústav automobilovej mechatroniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave

1

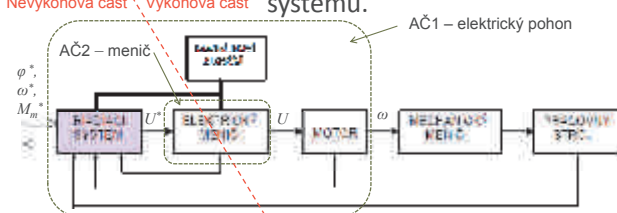
Obsah prednášky

- Akčný člen
- Elektromagnet
- Elektrický pohon
- Elektrický stroj
 - Klasifikácia elektrických motorov
 - Generovanie elektrického prúdu a elektromagnetického momentu
- Typy a vlastnosti elektrických motorov: jednosmerný motor (JM)

2

Akčný člen

Akčný člen je väzobný člen medzi nevýkonovou riadiacou časťou a výkonovou riadenou časťou systému.



Obr. Príklad akčného člena
(Elektrický pohon. Hlavnou regulovanou veličinou môže byť natočenie rotora φ^* , rýchlosť otáčania ω^* , alebo elektromagnetický moment M_m^*)

Vo výkonovej časti akčného člena môže dochádzať ku konverzii energií.
(Např. konverzia elektrickej energie na mechanický pohyb, teplo, alebo svetlo.)



4

Príklady aplikácie elektrických akčných členov v automobile

- Hnací systém
 - spaľovací motor: vstrekovanie a zapáľovanie pohonnej zmesi, automatická prevodovka, ...
 - elektromobil: elektrický pohon (motor + riadiaca a výkonová jednotka)
- Zariadenia pre komfort
 - Vykurovanie a klimatizácia, nastavovanie polohy sedadiel, uzamykanie dverí, odpruženie

5

Bezpečnosť

Stierače a ostrekovače, svetlomety, spúšťací systém sústavy airbagov a napínačov bezpečnostných pásov, protiblokovací a protišmykový systém.

6



Obr. Príklad zložitého akčného člena - hlavný pohon elektromobilu

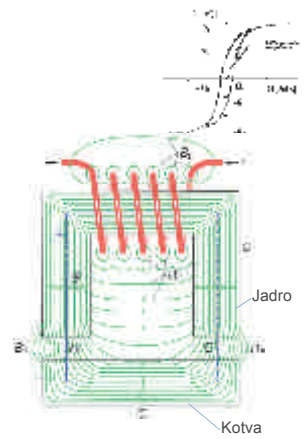
Elektromagnet

Elektromagnet je cievka s jadrom z magneticky mäkkého materiálu, ktorá využíva silové účinky magnetického poľa.

Elektromagnet premieňa energiu elektromagnetického poľa na mechanickú energiu.

Hlavné časti elektromagnetu:

- pevné jadro
- pohyblivá kotva
- cievka



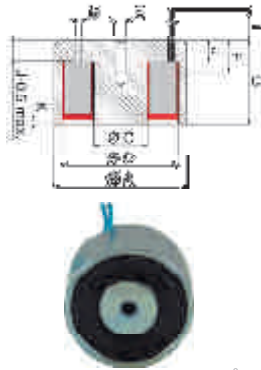
Klasifikácia elektromagnetov

Podľa funkcie

- **Prídržné elektromagnety** – používajú sa na pevné upínanie feromagnetických materiálov. Majú minimálny zdvih a veľkú príťažlivú silu.

Parametre:

- Nominálny príkon [W],
- Nominálne napätie [V]
- Max. prídržná sila [N]
- Hrúbka kotvy [mm]
- (Hmotnosť)



- **Prístrojové (ovládacie) elektromagnety** – realizujú obmedzený priamočiary, alebo rotačný pohyb:

– **Zdvihové elektromagnety**

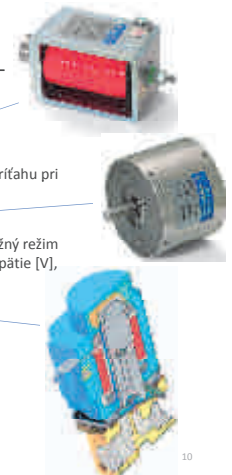
Parametre: zdvih [mm], prídržná sila [N], sila príťahu pri nominálnom zdvihu [N], príkon [W]

– **Otočné elektromagnety**

Parametre: uhol otočenia [°], moment [N], možný režim činnosti: dvojpohový/lineárny, nominálne napätie [V], príkon [W], snímač polohy: áno/nie.

– **Elektromagnetické ventily**

Parametre: napájacie napätie [V], príkon [W]



- Elektromagneticky riadené spojky a brzdy – prenášajú moment.

Parametre spojok: moment [Nm], napájacie napätie [V], príkon [W], prúd [A]

Parametre brzd: nominálny otáčavý moment [Nm], statický moment [Nm], napájacie napätie, príkon [W], prúd [A]



Podľa napätia

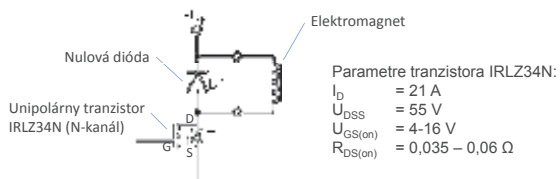
- **Jednosmerné elektromagnety** – Kotva nemusí dosadať do koncovej polohy (prúd nie je ovplyvnený veľkosťou vzduchovej medzery), nevznikajú vibrácie, pomalší príťah a odťah, menšia príťažlivá sila
- **Striedavé elektromagnety** – rýchlejší príťah, kotva musí dosadať do koncovej polohy (šírka vzduchovej medzery ovplyvňuje veľkosť prúdu), vyšší príťahový prúd ako prídržný => zahrievanie pri častom spínaní, možnosť vibrácií.

$$I \approx \frac{U}{\omega L}$$

Veľkosť vzduchovej medzery ovplyvňuje indukčnosť:

- ak sa vzduchová medzera zväčšuje, potom
- L klesá
- I rastie, čo zvyšuje mag. tok Φ

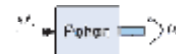
Napájanie jednosmerného elektromagnetu



Obr. Príklad zapojenia na ovládanie jednosmerného elektromagnetu

13

Elektrický pohon



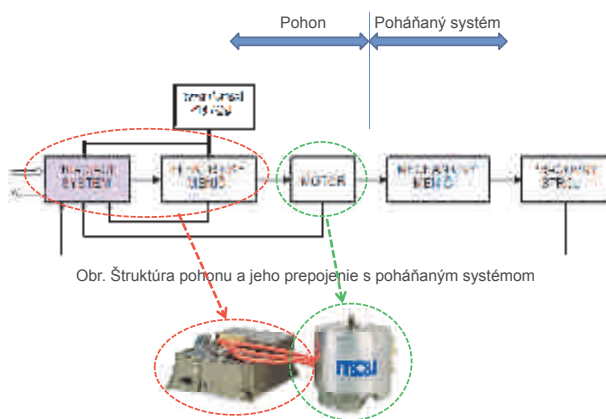
Elektrický pohon
= elektromechanický riadený menič energie

Používa sa na poháňanie:

- obrábacích strojov, priemyselných robotov,
- v technologických zariadeniach,
- čerpadiel, ventilátorov, kompresorov,
- dopravných systémov (napr. elektromobily).



14



Obr. Štruktúra pohonu a jeho prepojenie s poháňaným systémom

15

Elektrický točivý stroj

Elektrický točivý stroj realizuje konverziu medzi elektrickou a mechanickou energiou:

- **Motor** – elektro-mechanická konverzia
- **Generátor** – mechanicko-elektrická konverzia



Dynamo Deutsche Elektrizitäts Werke, Aachen
http://www.starestroje.cz/historie/historie_elektrina.php

16

Klasifikácia elektrických motorov (podľa charakteru napájacieho napätia)

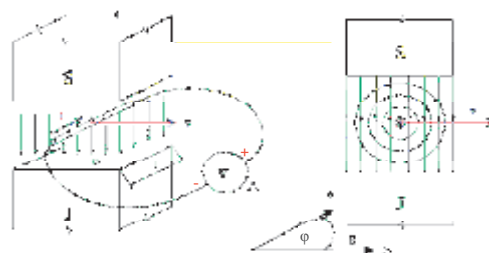
- **Jednosmerné motory:**
 - s mechanickým komutátorom (DC)
(upúšťa sa z aplikácií v el. traktcii, v menšej miere sa používajú na pohon malých dvojstopových vozidiel - kolobežky a bicykle),
 - s elektronickým komutátorom (BLDC ≡ EC)
(najrozšírenejší motor pre pohony vozidiel s výkonom stoviek W a jednotiek kW)
- **Striedavé motory:**
 - asynchrónne motory (AM)
(aplikácie hlavne v elektrickej traktcii – električky a lokomotívy),
 - synchronné motory:
 - s budeným rotorom (SM)
 - s permanentnými magnetmi (SMPM)
(podobný rozsah aplikácií ako BLDC motory, ale aj pre vyššie výkony)
 - krokové motory (KM)



17

Generovanie elektrického prúdu a elektromagnetického momentu

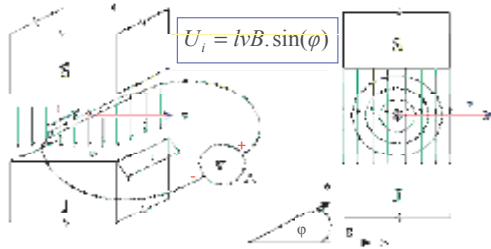
Princíp generovania elektrického prúdu



18

Generovanie elektrického prúdu a elektromagnetického momentu

Princíp generovania elektrického prúdu

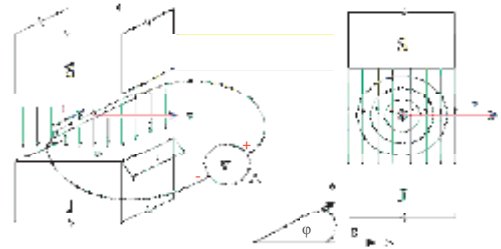


B – magnetická indukcia [T = Tesla], [WB/m²], [Vs/m²]
 v – rýchlosti pohybu prúdovodiča [m/s]
 l – dĺžka prúdovodiča

19

Generovanie elektrického prúdu a elektromagnetického momentu

Princíp generovania elektrického prúdu



Lenzovo pravidlo pravej ruky:

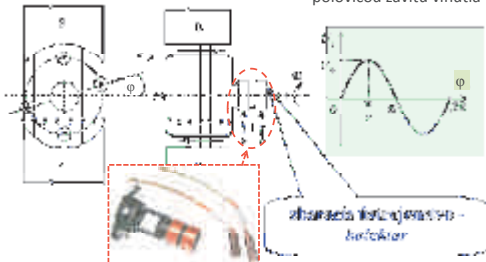
Indukovaný prúd má vždy taký smer, že pôsobí proti zmene, ktorá ho vyvolala.

20

Indukované napätie v elektrickom stroji (generátor striedavého prúdu)

$$u_i = N \Phi \omega \sin(\varphi)$$

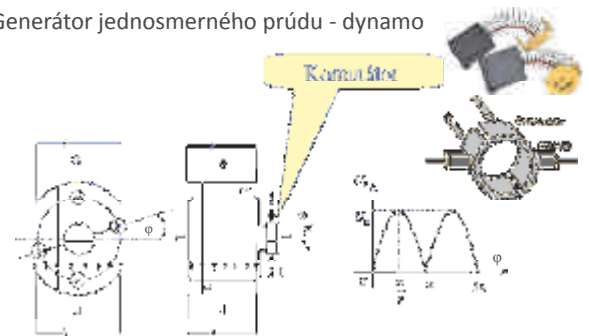
N – počet závitov rotora
 ω – uhlová rýchlosť [rad/s]
 φ – uhol natočenia rotora [rad]
 Φ – magnetický tok, ktorý prechádza polovicou závitov vinutia [Vs, Wb]



Obr. Princípna schéma generátora striedavého prúdu

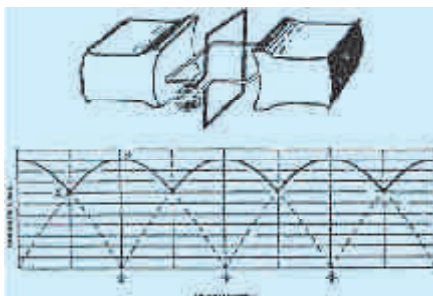
21

Generátor jednosmerného prúdu - dynamo



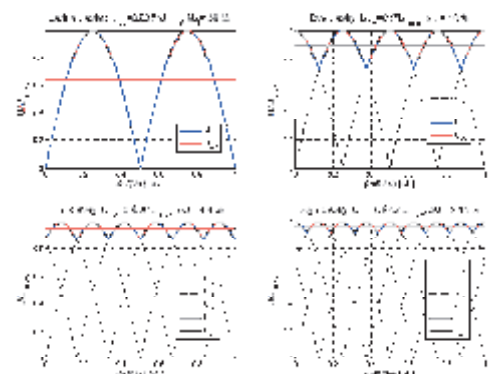
Obr. Princípna schéma 2-pólového dynama a priebeh indukovaného napätia

22



Obr. Princípna schéma 4-pólového dynama a priebeh indukovaného napätia

23



Obr. Priebehy indukovaného napätia dynama pre rôzny počet cievok na rotore

$$U_{i,AV} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_i(\alpha) d\alpha$$

$$\delta U_i = \frac{U_{i,max} - U_{i,AV}}{U_{i,max}} \cdot 100; [\%]$$

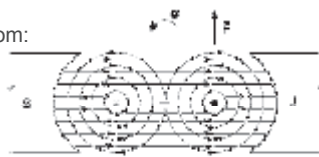
24

Princíp generovania elektromagnetického momentu

Vzťah medzi silou a momentom:

$$M_m = Fr$$

$$F = lBI$$



Okamžitá hodnota momentu:

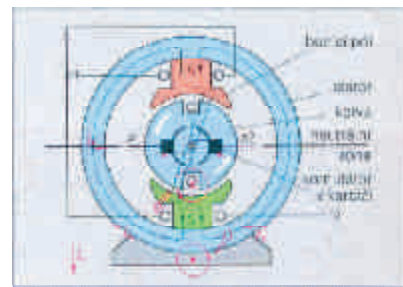
$$M_m = l B I \sin(\varphi) = N \Phi I \sin(\varphi)$$

Stredná hodnota momentu jednosmerného stroja:

$$M_m = C' \Phi I$$



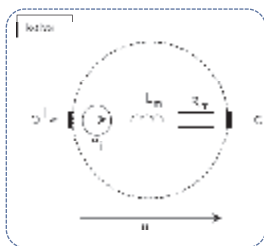
25



Obr. Rez jednosmerným motorom s cudzím budením

26

Náhradná elektrická schéma jednosmerného stroja



$$u_b = R_b i_b + \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = L_b i_b$$

$$u = R_m i + L_m \frac{di}{dt} + u_i$$

$$u_i = C' \Phi \omega$$

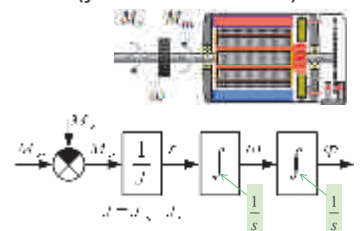
C' – konštrukčná konštanta

27

Mechanický subsystém (jednosmerného) motora

Dynamický moment:

$$M_d = M_m - M_z$$



M_m – moment motora [Nm]

M_z – moment záťaže [Nm]

J – moment zotrvačnosti pôsobiaci na hriadeľ motora [kg.m²]

J_m – moment zotrvačnosti motora [kg.m²]

J_z – moment zotrvačnosti záťaže [kg.m²]

$\varepsilon, \omega, \varphi$ – uhlové zrýchlenie, uhlová rýchlosť a uhol natočenia hriadeľa rotora

V ustálenom stave platí:

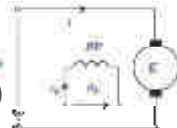
$$\omega = \text{konšt.}$$

$$M_d = 0 \Rightarrow M_m = M_z$$

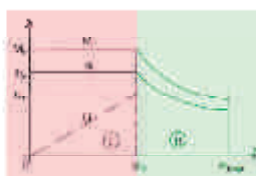
28

Riadenie rýchlosti JM s cudzím budením

- Zmenou napätia rotora (oblasť „I“)
- Zmenou budiaceho napätia (oblasť „II“)



Zvýšenie napätia rotora U

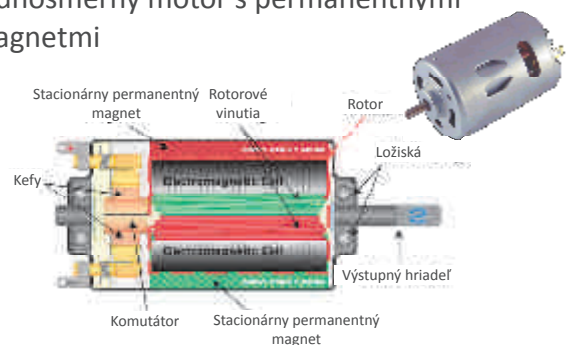


Zníženie budiaceho napätia U_b

Oblasť konštantného momentu Oblasť konštantného výkonu

29

Jednosmerný motor s permanentnými magnetmi



Obr. Prierez jednosmerným motorom s permanentnými magnetmi (<http://2bfly.com/knowledgebase/powerplants/brushed-dc-motors/>)

30

- Magnetický tok je vytvorený pomocou permanentných magnetov
- Odpadá napájací zdroj budiaceho vinutia
- Nevznikajú straty v budiacom vinutí
- Znižuje sa pravdepodobnosť výskytu poruchy



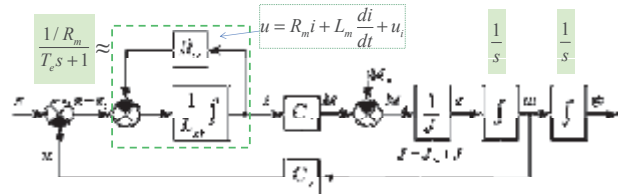
Nevýhody:

- Nie je možné znižovať mag. tok pri vyšších rýchlostiach. Motor pracuje len v oblasti konštantného momentu
- Riziko demagnetizácie permanentných magnetov

Oblasti použitia:

- Pohon mobilných zariadení s výkonom max. rádovo stovky W, obrábacie stroje a robotika (aj na väčšie výkony ako stovky W)

31



Obr. Štruktúra modelu jednosmerného motora s permanentnými magnetmi

$$M_m = C_u i; \quad u_i = C_u \omega; \quad \omega = \int \frac{M_d}{J} dt; \quad M_d = M_m - M_z$$

Elektrická časová konštanta:

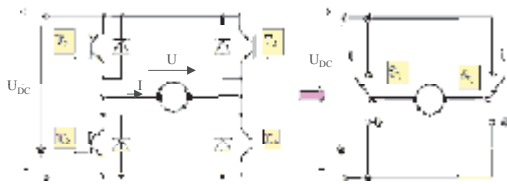
$$T_e = \frac{L_m}{R_m}$$

V ustálenom stave platí:

$$\omega = \text{konšt.} \quad M_m = M_z \quad i = \frac{1}{R_m} (u - u_i)$$

32

Napájanie jednosmerného motora s permanentnými magnetmi: Štruktúra výkonovej časti tranzistorového meniča



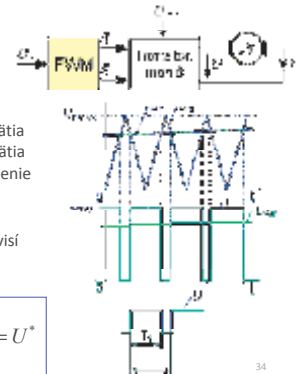
Obr. H-schéma a jej náhradný obvod

- Menič je napájaný z jednosmerného zdroja napätia U_{DC} (batéria, alebo usmerňovač a filter)
- Výkonové prvky meniča pracujú v spínacom režime činnosti a požadované napätie, alebo prúd rotora sú vytvárané pomocou PWM.
- Pri prepínaní tranzistorov vo vetvách je nutné najskôr vypnúť otvorené tranzistory a následne s istou časovou rezervou otvoriť aktívne tranzistory – musia sa dodržať „ochranné doby“.

33

Napájanie jednosmerného motora s permanentnými magnetmi: Napätiová šírkovo-impulzná modulácia (PWM – Pulse Width Modulation)

- Motor je napájaný z tranzistorového meniča
- Požadované napätie na výstupe je vytvárané pomocou PWM.
- Stredná hodnota U_{AV} výstupného napätia U sa má rovnať žiadanej hodnote napätia na rotore $U^* = k_{TM} U_r$. Kde k_{TM} je zesilnenie tranzistorového meniča.
- Spínacia frekvencia je konštantná, ale zvlnenie prúdu nie je konštantné a závisí na veľkosti indukovaného napätia a prúdu.



$$U_{AV} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = U_{DC} \frac{T_1}{T} = U^*$$

34

Ďakujem za pozornosť

35