

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Studie DC motorků malého výkonu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin NEŠKODNÝ**  
Osobní číslo: **E11B0063P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Studie DC motorků malého výkonu**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Provedte stručný přehled DC motorků malého výkonu od různých firem.
2. Porovnejte konstrukční provedení motorků.
3. Diskutujte o možnosti jejich použití.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

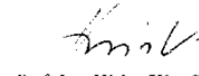
**1. Určí vedoucí práce**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Pavel Drábek, Ph.D.**  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**

  
Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na studii DC motorků malého výkonu. V jednotlivých kapitolách si rozebereme konstrukci a zapojení klasických stejnosměrných motorů. Na které navážeme DC motory malého výkonu, které pracují na stejném principu a konstrukci jako klasické stejnosměrné motory.

## **Klíčová slova**

DC motor, EC motor, Stejnosměrný motor, Stejnosměrný motor cize buzený, Stejnosměrný motor sériově buzený, Konstrukce stejnosměrných motorů, Konstrukce DC motorů

## **Abstract**

This bachelor work focuses on the study of low power DC motors. In the chapters we analyze the structure and the involvement of classic DC motors. To be followed by low power DC motors that operate on the same principle as a construction of classic DC motors.

## **Key words**

DC motor, EC motor, Direct Current motor, DC motor serial activation, DC motor strange activation, Construction DC motor

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 2.6.2014

Martin Neškodný

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Pavlu Drábkovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala ve studiu.

## Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Obsah</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>Úvod</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>Seznam symbolů a zkratk</b> .....                                     | <b>11</b> |
| <b>1. Stejnoseměrné motory</b> .....                                     | <b>12</b> |
| 1.1 Výhody a nevýhody stejnosměrných motorů .....                        | 12        |
| 1.1.1 Výhody stejnosměrných motorů .....                                 | 12        |
| 1.1.2 Nevýhody stejnosměrných motorů .....                               | 12        |
| 1.2 Konstrukční uspořádání stejnosměrných motorů .....                   | 13        |
| 1.2.1 Řez stejnosměrným motorem.....                                     | 14        |
| 1.2.2 Stejnoseměrné motory s převodem.....                               | 14        |
| 1.3 Rozdělení stejnosměrných motorů .....                                | 14        |
| <b>2. Stejnoseměrný motor s cizím buzením</b> .....                      | <b>15</b> |
| 2.1 Matematický model stejnosměrného motoru s cizím buzením .....        | 15        |
| 2.1.1 Rozběh stejnosměrného cize buzeného motoru .....                   | 16        |
| 2.2 Brždění stejnosměrného cize buzeného motoru .....                    | 17        |
| 2.2.1 Rekuperační brždění stejnosměrného motoru .....                    | 17        |
| 2.2.2 Způsoby brždění stejnosměrného motoru.....                         | 17        |
| <b>3. Stejnoseměrný motor se sériovým buzením</b> .....                  | <b>18</b> |
| 3.1 Matematický moment ss motoru se sériovým buzením .....               | 19        |
| 3.2 Rozběh stejnosměrného sériově buzeného motoru .....                  | 19        |
| 3.3 Brždění stejnosměrného motoru sériově buzeného .....                 | 20        |
| 3.3.1 Rekuperační brždění stejnosměrného motoru sériově buzeného.....    | 20        |
| 3.3.2 Odporové brždění stejnosměrného motoru sériově buzeného .....      | 20        |
| <b>4. Stejnoseměrné motory s permanentními magnety (DC motory)</b> ..... | <b>20</b> |
| 4.1 Konstrukce DC motorů.....  | 21        |
| 4.1.1 Konstrukční části DC motoru Maxon motors .....                     | 21        |
| 4.1.2 Vynutí DC motoru .....   | 22        |
| 4.1.3 Komutátor .....  | 22        |
| 4.1.4 Ložiska.....   | 23        |
| 4.1.5 Permanentní magnety .....  | 24        |
| <b>5. Maxon Motor</b> .....  | <b>24</b> |
| 5.1 DC motor .....   | 25        |
| 5.2 EC motor .....   | 25        |
| 5.3 Převodovky.....  | 26        |
| 5.4 Senzory .....  | 26        |
| <b>6. Nidec</b> .....  | <b>27</b> |
| 6.1 EC motory .....  | 27        |
| 6.2 DC motory .....  | 27        |
| <b>7. Oriental Motors</b> .....  | <b>27</b> |
| 7.1 EC Motor .....   | 27        |



|   |           |
|---|-----------|
| <b>8. Bühler Motor.....</b>                       | <b>27</b> |
| 8.1 DC Motor .....                                | 28        |
| 8.2 EC Motor .....                                | 28        |
| <b>9. Použití DC motorů Maxon motor .....</b>     | <b>28</b> |
| 9.1 Použití Maxon motor v kosmonautice .....      | 28        |
| 9.1.1 SpaceX Falcon 9 „Dragon“ .....              | 28        |
| 9.1.2 Vozítko Curiosity .....                     | 28        |
| 9.1.3 Vozítka Opportunity a Spirit.....           | 29        |
| 9.2 Použití Maxon motor v běžných aplikacích..... | 30        |
| 9.2.1 Zdravotnická technika .....                 | 30        |
| 9.2.2 Průmyslová automatizace a robotizace .....  | 31        |
| 9.2.3 Měřicí a zkušební technika .....            | 31        |
| 9.2.4 Digitální elektronické systémy.....         | 31        |
| 9.2.5 Bezpečnostní technologie .....              | 32        |
| 9.2.6 Automobilový průmysl .....                  | 32        |
| 9.2.7 Letecký průmysl .....                       | 32        |
| 9.2.8 Spotřebitelské aplikace .....               | 32        |
| <b>10. Závěr .....</b>                            | <b>33</b> |
| <b>11. Použitá literatura.....</b>                | <b>34</b> |

## **Úvod**

V této bakalářské práci se zaměřím na DC motorky malého výkonu. Úvodní částí bakalářské práce se budu zabývat konstrukčním uspořádáním a vlastnostmi klasických stejnosměrných motorů. Další částí rozeberu stejnosměrné motory malého výkonu s permanentními magnety (DC motory). U kterých popíšu jejich konstrukci. Vlastnosti DC motorků malého výkonu jsou podobné jako u klasických stejnosměrných motorů, které jsou rozepsány v úvodní části. V další části představím výrobce DC motorů malého výkonu. Poslední část bakalářské práce se zaměřím na praktické využití DC motorů v reálném životě například v automobilovém a leteckém průmyslu, zdravotnictví a kosmonautice.

**Seznam symbolů a zkratk**

|                      |   |
|----------------------|---|
| $\Omega$ .....       | Rychlost otáčení [ <i>rad/s</i> ]           |
| $\Omega_{max}$ ..... | Maximální rychlost otáčení [ <i>rad/s</i> ] |
| $u_q$ .....          | Napětí kotvy [ <i>V</i> ]                   |
| $u_f$ .....          | Budící napětí [ <i>V</i> ]                  |
| $u_i$ .....          | Indukované napětí [ <i>V</i> ]              |
| $i_q$ .....          | Proud kotvy [ <i>A</i> ]                    |
| $i_f$ .....          | Budící proud [ <i>A</i> ]                   |
| $P$ .....            | Výkon [ <i>A</i> ]                          |
| $P_{max}$ .....      | Maximální výkon [ <i>A</i> ]                |
| $M$ .....            | Moment [ <i>Nm</i> ]                        |
| $M_{max}$ .....      | Maximální moment [ <i>Nm</i> ]              |
| $\Phi$ .....         | Magnetický tok [ <i>Wb</i> ]                |

## 1. Stejnoseměrné motory

Pohony se stejnosměrnými motory byly v minulosti velmi rozšířeny pro jejich jednoduché řízení změny otáčivé rychlosti. V současné době zaznamenávají velký rozmach v bateriově napájených pohonech např. elektromobilech. Velmi rozšířené jsou jako servopohony se stejnosměrnými motorky. Jejich použití je velmi rozmanité. V automobilovém průmyslu se používají např. pohony stěračů oken, ventilátorů apod. Jde o malé výkony, řádově do několika set wattů. [1]

### 1.1 Výhody a nevýhody stejnosměrných motorů

#### 1.1.1 Výhody stejnosměrných motorů

- Jednoduché řízení otáčivé rychlosti  $\Omega$  pomocí změny napětí kotvy  $u_q$  i budícího proudu  $i_f$ .
- Velký točivý moment  $M$ , zvláště při nízké otáčivé rychlosti  $\Omega$ .
- Malý záběrový proud  $i_z$ , dosahovaný zapojením předřadných odporů do obvodu kotvy nebo změnou kotevního napětí  $u_q$ .
- Snadná změna smyslu otáčení, dosažená buď změnou polarity napětí kotvy  $u_q$  nebo změnou budícího proudu  $i_f$ .
- Snadné přizpůsobení provozních charakteristik požadavkům poháněných mechanismů pomocí řízení budícího proudu  $i_f$ .
- Velký rozsah provozních otáčivých rychlostí, které nejsou vázány na kmitočet napájecí sítě.
- Velký rozsah výkonové proveditelnosti až do desítky megawattů.

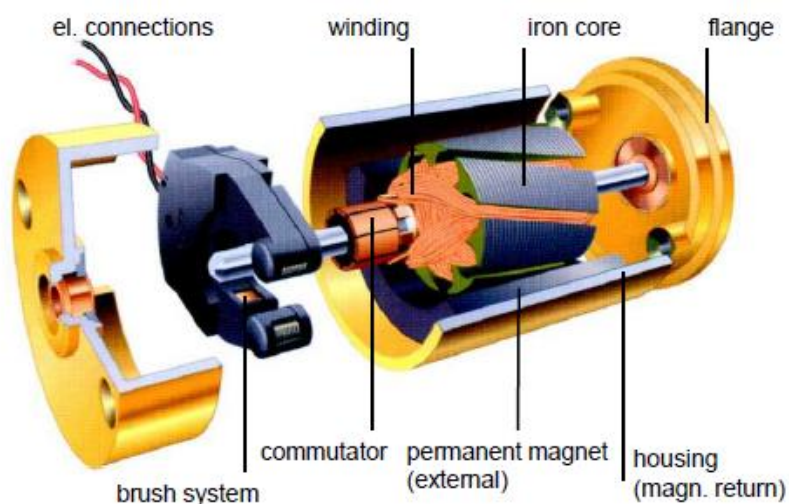
#### 1.1.2 Nevýhody stejnosměrných motorů

- Maximální rychlost stroje je omezena komutací a komutátorem.
- Komutátor vyžaduje zvýšenou údržbu.
- Větší rozměry než asynchronní motory.
- Maximální Výkon  $P_{\max}$  a otáčivá rychlost  $\Omega_{\max}$  spolu navzájem souvisejí vztahem  $P_{\max} \cdot \Omega_{\max} = K_{ss}$ , kde konstanta  $K_{ss} = 0,3$  pro výkon  $P_{\max}$  udávaný [MW] a otáčivá rychlost v  $\Omega_{\max}$  tisících [rad/s].

## 1.2 Konstrukční uspořádání stejnosměrných motorů

Na statoru motoru jsou umístěny hlavní póly, které mohou být buzeny cívkami, nebo permanentními magnety. Póly s budícím vinutím se skládají z pólového jádra a nástavce. Stejnosměrný motor (obr. 1.1) může obsahovat tzv. pomocné póly (komutační) umístěné mezi hlavní póly z důvodu zlepšení komutačních vlastností. [1]

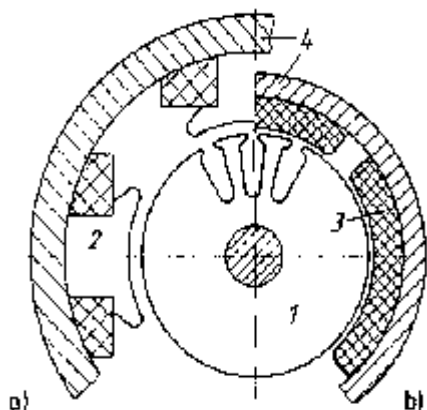
Rotor stejnosměrného motoru je složen s dynamových plechů (izolované křemíkové plechy) v jehož drážkách je umístěno rotorové vinutí. Jednotlivé cívky vinutí kotvy jsou připojeny k vzájemně izolovaným lamelám komutátoru, který zde zastává funkci mechanického usměrňovače proudu. Komutátor a magnetický obvod je nasazen na hřídeli stejnosměrného motoru. Na komutátor dosedají kartáče, umístěné ve speciálních držácích, jimiž se přivádí proud do vinutí kotvy nebo odebrání proudu při generátorickém chodu (dynamo). [1]



Obr. 1.1 DC motor [5]

### 1.2.1 Řez stejnosměrným motorem

Na obr. 1.2 je zobrazeno různé řešení statoru u stejnosměrného motoru.



**Stator ss motoru:**

- a. S buzením
- b. S permanentními magnety

- 1. Kotva
- 2. Póly s cívkami
- 3. Póly s permanentními magnety
- 4. Kotva statoru

Obr. 1.2 Řez stejnosměrným motorem [2]

### 1.2.2 Stejnosměrné motory s převodem

Rychloběžný motor má vždy větší účinnost než pomaloběžný motor stejného výkonu. Rozdíly jsou tím patrnější, čím větší jsou rozdíly v rychlostech otáčení. Též závislost účinnosti na zatížení je u rychloběžných motorů výrazně výhodnější. Rychloběžný motor má účinnost mezi 70 až 150% jmenovitého zatížení. Pomaloběžný motor má účinnost mezi 50 až 100% jmenovitého zatížení. Jelikož hmotnost roste s jeho momentem, je pomaloběžný motor vždy rozměrnější než motor rychloběžný stejného výkonu. Je proto výhodné používat u zařízení s malou rychlostí otáčení rychloběžné motory s převodovou skříní. Zpravidla se jedná o převod s čelními ozubenými koly, jehož účinnost se mění v rozsahu převodů od 6:1 až 150:1 s účinností 0,92 až 0,97. Celková účinnost motoru s převodem je výhodná při zatížení na jmenovitý výkon. Jistým nedostatkem převodových skříní bývá zvýšená hlučnost, rozsah výkonů. [3]

### 1.3 Rozdělení stejnosměrných motorů

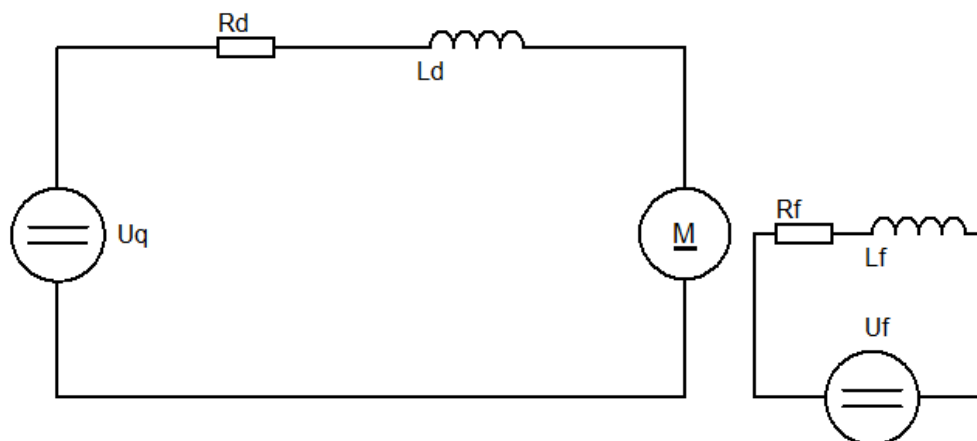
- **Stejnosměrný motor s cizím buzením**

Budící vinutí hlavních pólů je napájeno z nezávislého stejnosměrného zdroje nebo má permanentní magnety.

- **Stejnoseměrný motor s derivačním buzením**  
Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno paralelně ke kotvě.
- **Stejnoseměrný motor se sériovým buzením**  
Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno do série s kotvou.
- **Stejnoseměrný motor s kompaundním (smíšeným) buzením**  
Na hlavních pólech je budící vinutí derivační a sériové.

## 2. Stejnoseměrný motor s cizím buzením

Obvodové elektrické schéma stejnosměrně cize buzeného motoru na obr. 2.1. Jedná se o zjednodušené schéma důležité pro analýzu chování pohonu. Pro speciální analýzy je třeba náhradní schéma rozšířit o další prvky. [1]



Obr. 2.1 Obvodové schéma stejnosměrného motoru s cizím buzením

Stejnoseměrný motor s cizím buzením má dva elektrické obvody. Obvod kotvy je napájen z vnějšího napěťového zdroje  $u_q$  protékán proudem kotvy  $i_q$ . Budící obvod je napájen z druhého vnějšího zdroje  $u_f$  a je protékán budícím proudem  $i_f$ . Budící proud protéká závity budícího vinutí, které vybudují v magnetickém obvodu magnetický tok  $\Phi$ . Otáčením rotoru v magnetickém poli  $\Phi$  se do rotorového neboli kotevního vinutí indukují indukované napětí  $u_i$ . Vzájemným působením magnetického toku  $\Phi$  a proudu kotvy  $i_q$  vzniká elektromagnetický moment  $M$ , který se snaží urychlit rotor. [1]

### 2.1 Matematický model stejnosměrného motoru s cizím buzením

Matematický model stejnosměrného cize buzeného motoru tvoří soustava 6 rovnic, která platí mezi veličinami  $u_q$ ,  $i_q$ ,  $u_i$ ,  $u_f$ ,  $i_f$ ,  $\Phi$ ,  $\Omega$ , hnacím momentem  $M$  a zátěžným momentem  $M_z$ . [1]

$$u_q = R_d \cdot i_q + L_d \cdot \frac{di_q}{dt} + u_i \quad (2.1)$$

$$u_f = R_f \cdot i_f + L_f \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (2.2)$$

$$M - M_z = J_c \cdot \frac{d\Omega}{dt} \quad (2.3)$$

$$u_i = C \cdot \Phi \cdot \Omega = \xi \cdot \Omega \quad (2.4)$$

$$M = C \cdot \Phi \cdot i_q = \xi \times i_q \quad (2.5)$$

$$\Phi = f(i_f) = K_\Phi \cdot i_f \quad (2.6)$$

Konstanty úměrnosti  $C$  a  $\xi$  používáme podle potřeb řešené úlohy. V případě, kdy v řešené úloze je budící proud proměnnou veličinou, používáme první vztahy (2.4), (2.5) a (2.6). Pokud je stejnosměrný motor konstantě nabuzený tak lze použít druhé vztahy (2.4), (2.5). Závislost mezi magnetickým tokem  $\Phi$  a budícím proudem  $i_f$  je nelineární magnetizační charakteristika  $\Phi=f(i_f)$ . V oblasti do nasycení magnetizačního obvodu stejnosměrného motoru lze magnetizační křivku nahradit přímkou se sklonem  $K_\Phi$ . Aby byla soustava jednoznačně řešitelná některou matematickou metodou. Musíme volbou tří neznámých veličin změnit na nezávisle proměnné veličiny. To jinak znamená určit si tyto proměnné. [1]

### 2.1.1 Rozběh stejnosměrného cize buzeného motoru

Rozběh stejnosměrného motoru je přechodový děj z nulových otáček na jmenovité otáčky. Stejnosměrné motory s cizím buzením se nikdy nerozbíhají přímým připojením na napájecí napětí z důvodu vzniku velkého záběrného proudu  $I_{zab}$  a záběrného momentu  $M_{zab}$ , který by mohl ohrozit mechanickou část motoru a jeho komutátor. Rozběh se proto provádí postupným zvyšováním napájecího napětí  $u_q$ , nebo postupným vyřazováním do kotevního obvodu sériově zapojených předřadných odporů  $R_s$ . [1]

- **Napěťový rozběh stejnosměrného cize buzeného motoru**

Napěťový rozběh je současné době nejpoužívanější metodou. Postupné zvyšování napájecího napětí  $u_q$ , které provádí obsluha nebo



regulátor kotevního proudu dle rozdílu mezi nastavenou žádanou hodnotou a měřenou skutečnou hodnotou. [1]

- **Odporový rozběh stejnosměrného cize buzeného motoru**

Odporové spouštění je jednoduché, ale vznikají při rozběhu ztráty ve spouštěcích odporech. Vyžadují řadu spínacích prvků, které postupně spínají během rozjíždění stejnosměrného motoru. Podle počtu spouštěcích odporů  $n$ , tedy i počtu použitých přepínačů, je kolísání spouštěcího proudu mezi maximálním proudem  $I_{zabm}$  a minimální tzv. přepínací hodnotou  $I_{zabp}$  malé nebo velké. Totéž platí také pro elektromagnetické momenty  $M_{zabm}$  a  $M_{zabp}$ . [1]

## 2.2 Brždění stejnosměrného cize buzeného motoru

Při elektrickém brždění stejnosměrného motoru se kinetická energie pohonu vrací zpět do napájecího napětí nebo se mění v brzdných odporech na teplo. [1]

### 2.2.1 Rekuperační brždění stejnosměrného motoru

Rekuperační brždění je způsob brždění, při kterém se kinetická energie bržděného pohonu přemění v motoru, který v tomto režimu pracuje jako dynamo, na energii elektrickou, která se vrací do napájecího napětí. [1]

### 2.2.2 Způsoby brždění stejnosměrného motoru

- **Změnou polaritu zátěžného momentu  $M_z$**
- **Snížením napájecího napětí**

Snížením napájecího napětí  $u_q$  se posune mechanická charakteristika motoru. Tím se posune i průsečík se zatěžovací charakteristikou. Po dobu přechodu je hnací moment  $M$  menší než zátěžný moment  $M_z$ . Tím se změní motor na dynamo a začne vracet energii do napájecího zdroje. [1]

- **Odporové brždění**

#### **Brždění do odporu**

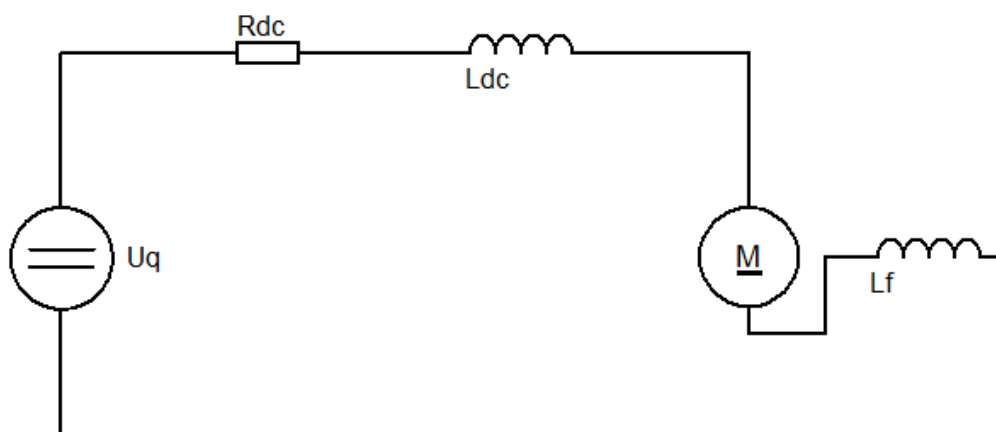
Při bržděním do odporu se motor odpojí od napájecího zdroje a do obvodu kotvy se zapojí odpor či sada odporů. Motor se dále otáčí díky svým setrvačným hmotám, a proto se stane dynamem. Tato energie se mění na teplo v brzdných odporech. [1]

### Brždění na odporech

K brždění protiproudem dochází tehdy, když je stejnosměrný motor napájen pro určitý smysl otáčení, ale vlivem zátěžného momentu  $M_z$  se otáčí v opačném směru. Indukované napětí kotvy  $U_i$  se v takovém případě sčítá s napájecím napětím zdroje. Obě napětí způsobují v kotevním obvodu proud  $I_{brz}$ , jehož polarita znamená dodávání energie do napájecího zdroje. Tato dodaná energie se mění v zařazených odporech na teplo. [1]

### 3. Stejnosměrný motor se sériovým buzením

Stejnosměrné motory se sériovým buzením jsou nejčastěji používány jako trakční motory, protože mají pro trakci mnoho výhod. Nejdůležitější výhodou je veliký záběrný moment  $M$  a pokles rychlosti  $\Omega$  se zatížením. Další výhodou je pomalejší průběh přechodových jevů, protože je tlumený indukčností budicího vnutí  $L_f$ , která je zapojena do obvodu kotvy. Dalšími výhodami jsou malá citlivost na skoky v napájecím napětí a dobré vlastnosti při paralelním chodu více motorů. Obvodové elektrické schéma stejnosměrného motoru sériově buzeného na obr. 3.1. Jedná se o zjednodušené schéma, které obsahuje všechny veličiny a parametry pro analýzu chování motoru. [1]



Obr 3.1 Obvodové schéma stejnosměrného motoru se sériovým buzením

Stejnosměrný motor se sériovým buzením má pouze jeden elektrický obvod, který je napájen z vnějšího napěťového zdroje  $u_q$  a protékán proudem kotvy  $i_q$ . Proud  $i_q$  protéká také závitů budicího vnutí, které vybudují v magnetickém obvodu magnetický tok  $\Phi$ . Otáčením rotoru v magnetickém poli  $\Phi$  se do rotorového vnutí indukuje napětí  $u_i$ . Vzájemným působením magnetického toku  $\Phi$  a proudu kotvy  $i_q$  vzniká

elektromagnetický moment  $M$ , který se snaží urychlit motor. Ohmický odpor  $R_{dc}$  představuje náhradní odpor celého obvodu a  $L_{dc}$  představuje náhradní indukčnost celého obvodu. [1]

### 3.1 Matematický moment ss motoru se sériovým buzením

Matematický model stejnosměrného sériového buzeného motoru tvoří soustava rovnic, která platí mezi vztahy mezi elektrickými veličinami  $u_q$ ,  $i_q$ ,  $u_i$ ,  $\Phi$ , hnacím momentem  $M$ , zátěžným momentem  $M_z$  a otáčivou rychlostí rotoru motoru  $\Omega$ .

$$u_q = R_{dc} \cdot i_q + L_{dc} \cdot \frac{di_q}{dt} + u_i \quad (3.1)$$

$$M - M_z = J_c \cdot \frac{d\Omega}{dt} \quad (3.2)$$

$$u_i = C \cdot \Phi(i_q) \cdot \Omega = C_U \cdot i_q \cdot \Omega \quad (3.3)$$

$$M = C \cdot \Phi(i_q) \cdot i_q = C_M \cdot i_q^2 \quad (3.4)$$

$$\Phi = f(i_q) = K_\Phi \cdot i_q \quad (3.5)$$

Konstanty úměrnosti  $C$ ,  $C_U$  a  $C_M$  používáme podle potřeb řešení úlohy. Závislost mezi magnetickým tokem  $\Phi$  a budicím proudem  $i_q$  je nelineární magnetizační křivka  $\Phi = f(i_q)$ . V oblasti nasycení magnetického obvodu stroje lze magnetizační charakteristiku nahradit přímkou se sklonem  $K_\Phi$ . Při základních analýzách se pracuje s lineární částí magnetizační charakteristiky a v takovém případě lze používat druhé vztahy v (3.3),(3.4). Abychom mohli tyto rovnice vyřešit. Musíme určit dvě veličiny jako nezávisle proměnné. [1]

### 3.2 Rozběh stejnosměrného sériově buzeného motoru

Rozběh stejnosměrného motoru sériově buzeného probíhají přechodové děje časově pomalu, že během nich neprojeví indukčnost ss motorů. [1]

- **Napět'ový rozběh stejnosměrného motoru**

Napět'ový rozběh je nepoužívanější způsob rozběhu stejnosměrného motoru. Provádí se postupnou změnou napětí  $U_q$ . Automaticky sleduje

hodnota kotevního proudu nebo rozdíl mezi požadovanou a naměřenou hodnotou a tím se zvyšuje napětí  $U_q$ . [1]

- **Odporový rozběh stejnosměrného motoru**

Stejnosemřné motory větších výkonů se nikdy nespouští, přímým připojením na napájecí napětí. Protože by záběrný  $I_{zab}$  a  $M_{zab}$  by byli příliš vysoké a ohrozily by mechanickou část motoru. Omezení  $I_{zab}$  se provádí zařazení předřadných odporů do série s motorem. Spuštění je jednoduché, ale je spojeno se ztrátami na odporech. Odpory se pomocí spínačů postupně odpojují až do doby než se motor roztočí. [1]

### 3.3 Brždění stejnosměrného motoru sériově buzeného

Při elektrickém brždění stejnosměrného motoru se kinetická energie pohonu buď vrací zpět do napájecího zdroje nebo se mění v brzdných odporech na teplo. [1]

#### 3.3.1 Rekuperační brždění stejnosměrného motoru sériově buzeného

Přímé rekuperační brždění stejnosměrného sériového buzeného motoru není možné, ale lze brzdit rekuperačí. Lze to provést pomocí některého měniče výkonové elektroniky [1]

#### 3.3.2 Odporové brždění stejnosměrného motoru sériově buzeného

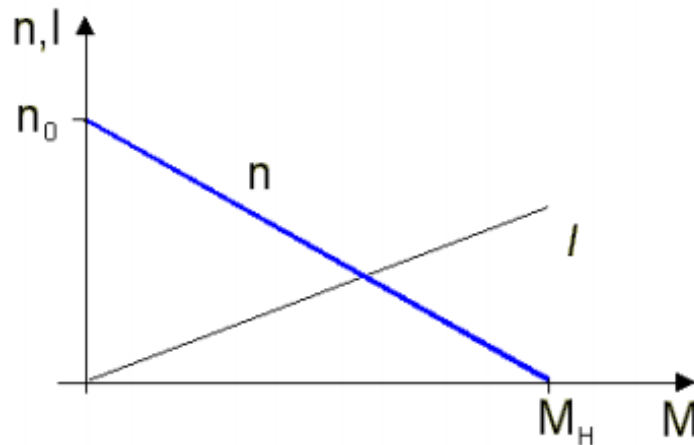
Stejný způsob jak u stejnosměrného cize buzeného motoru.

- **Brždění na odporu**
- **Brždění protiproudem**

## 4. Stejnosemřné motory s permanentními magnety (DC motory)

Jedná se o stejnosměrné motory, které mají místo pólů s budícím vinutím permanentní magnety. Odlišují se jednak velkým sklonem charakteristiky  $\Omega=f(M)$  a tím i velkým poklesem rychlosti  $\Omega$  se zatížením  $M$  (*obr. 4.1*), jednak provedením rotorového vinutí. Motorky většiny výrobců mají vinutí rotoru uloženo v drážkách rotorového magnetického obvodu, vyrobeného s izolovaných plechů jako to mají standartní stejnosměrné motory. Motorek firmy Maxon má samostatné vinutí, které se otáčí ve vzduchové mezeře mezi dvěma stojícími částmi magnetického obvodu s masivního materiálu. Tím se podstatně sníží moment setrvačnosti rotoru i ztráty v magnetickém obvodu. Obě provedení mají

rotorového vinutí vyvedeno na komutátor, stejně jako u klasického stejnosměrného motoru. [1]

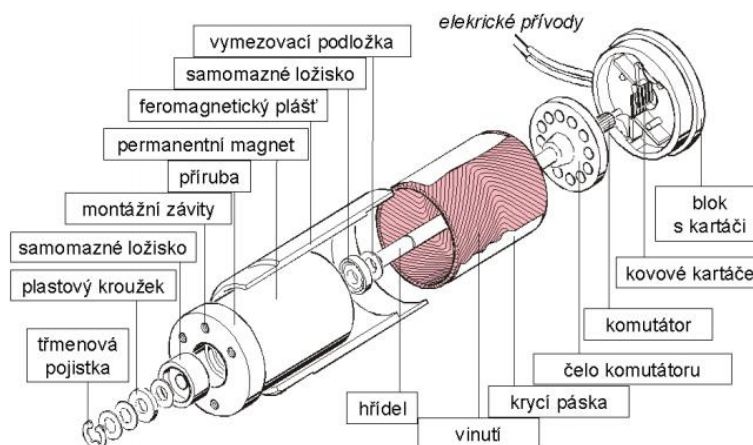


Obr. 4.1 Charakteristika DC motoru [4]

## 4.1 Konstrukce DC motorů

### 4.1.1 Konstrukční části DC motoru Maxon motors

Na obr. 4.2 je zobrazeno konstrukce DC motoru od firmy Maxon motor. Stator motoru se skládá z parlamentního magnetu (AlNiCo, neodym), který je uložen ve středu motoru. Rotor je tvořen Ironless vinutím, který je mezi permanentním magnetem (rotor) a feromagnetickým pláštěm (rozložení mag. pole obr. 4.6). Komutátor (mechanický usměrňovač/střídač) je vytvořen grafitovými nebo kovovými kartáči. Všechny komponenty jsou umístěny na hřídeli, která je uložena na kuličkových nebo na kluzných ložiscích.



Obr. 4.2 Konstrukce DC motoru Maxon [4]

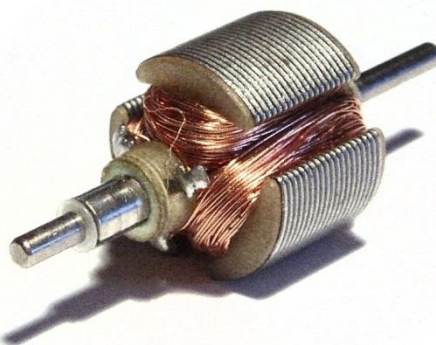
#### 4.1.2 Vynutí DC motoru

- **Samostatné vinutí** rotoru (*obr. 4.3*) je pro určitý výkon menší a lehčí než vinutí na železném jádře, neboť permanentní magnet je vložen do dutého vinutí rotoru. Příčný rozměr dutiny, je dostatečný, aby permanentní magnet vytvořil magnetickou indukci v mezeře s vinutím. Komutace nebrání zvýšit otáčky z 3000ot/min až na 5000ot/min. [4]



*Obr. 4.3 Ironless vinutí [5]*

- **Vinutí na železném jádře**  
Na hřídeli motoru jsou železné pólové nástavce, na kterých je navinutá cívka (*obr. 4.4*).



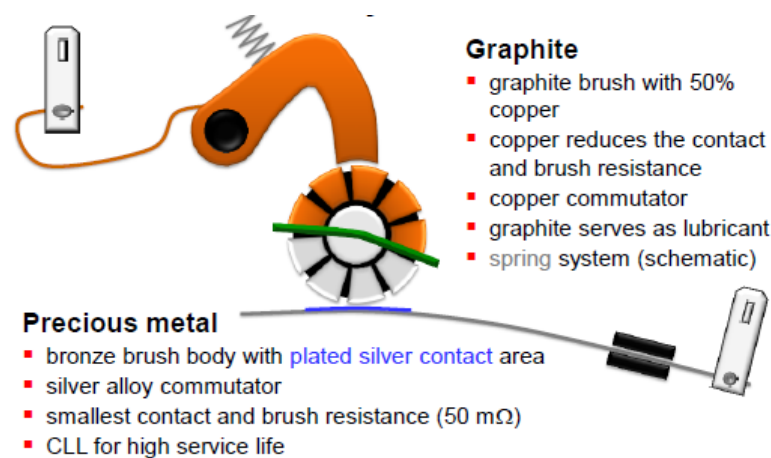
*Obr. 4.4 Klasické vinutí s železným jádrem [5]*

#### 4.1.3 Komutátor

- **Kovové kartáče** (*obr. 4.5*) doléhají na válcový povrch komutátoru vlastní pružností a s malou přitlačnou silou, která stačí na dokonalý elektrický kontakt, který má malý elektrický odpor.

Opalování kovových kartáčů a komutátoru obloukem na přechodu mezi lamelami komutátoru je nepatrné vzhledem k velmi nízké indukčnosti vinutí kotvy bez železa. K zmenšení oblouku použijeme kondenzátory montované do čela samostatného vinutí a zapojené mezi lamely kondenzátoru. Metoda CLL firmy Maxon. Použité materiály na kovové kartáče jsou slitiny drahých kovů stříbra, paladia a mědi. [4]

- **Grafitové kartáče** (obr. 4.5) doléhají na válcový povrch komutátoru větší plochou než kovové kartáče. Přenesou vyšší proudy, ale potřebují vyšší přitlačnou sílu. To způsobuje vyšší proud při běhu naprázdno. Opotřebením kartáčů vzniká grafitový prach, který znečistí vnitřek motoru, ale působí jako mazivo. Přechodový elektrický odpor kontaktů při otáčení je nestejněměrný a při malých proudech roste. Amplituda zvlnění proudu se snižuje s počtem lamel komutátoru. [4]



Obr. 4.5 Druhy komutátorů DC motorů [5]

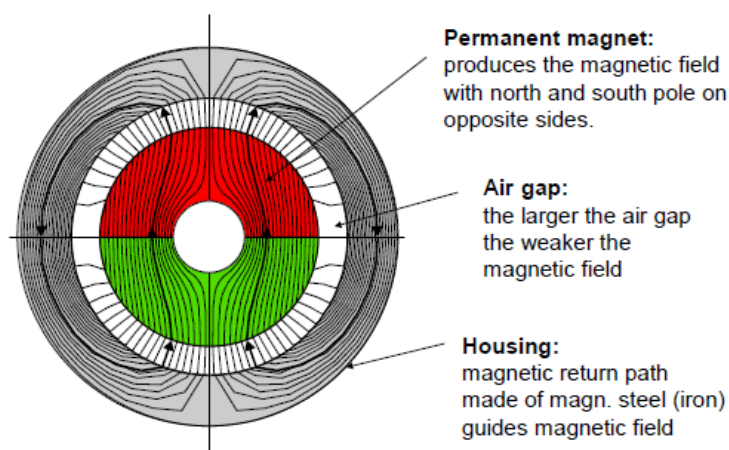
#### 4.1.4 Ložiska

- **Kluzná samomazná ložiska** jejich předností nízká cena a malé rozměry. Doba jejich života je dostatečná v aplikacích, kde jsou podmínky pro vytlačení maziva z pórů sintrového ložiska a utvoření olejového filmu. To je splněno v provozu s vysokou a dlouhodobě stálou rychlostí a s nízkým radiálním zatížením, kdy je doba života ložisek srovnatelná s životem komutace. [4]

- **Kuličková miniaturní ložiska** vydrží dlouhodobé i pomalé a nepravidelné otáčení. Jejich doba života zejména v těchto případech překračuje dobu života komutace. [4]

#### 4.1.5 Permanentní magnety

Používané permanentní magnety v DC motorech jsou magneticky tvrdé ferity, slitiny AlNiCo a materiály ze vzácných zemin, obsahující neodym, železo a bor. Rozložení magnetické pole viz *obr. 4. 6.* [4]



*Obr. 4.6 Magnetické pole v DC motorech Maxon [5]*

## 5. Maxon Motor

Maxon motors je Švýcarský přední světový dodavatel vysoce přesných pohonných systémů od roku 1961. Maxon motor vyrábí bezkartáčové a DC motory s ironless vinutím do 500W a bezkartáčové ploché motory s železným jádrem až 90W. K dalšímu sortimentu patří převodovky, senzory a řídicí systémy. Jejich pohonné systémy najít všude kde se požaduje přesnost a spolehlivost. [5]

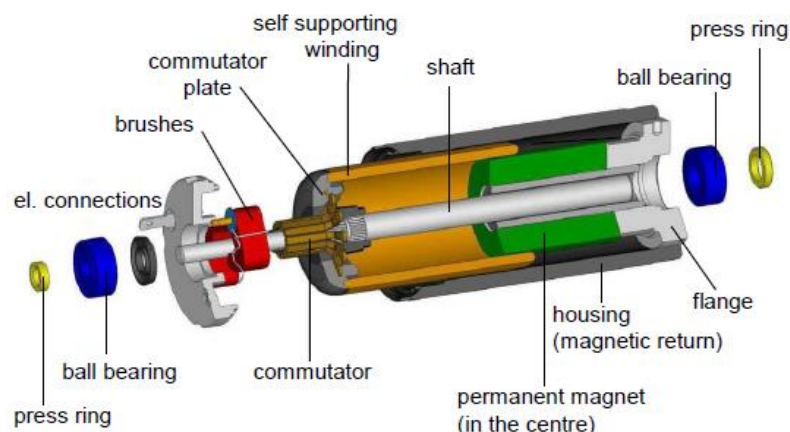
### Například v následujících oblastech:

- Zdravotnická technika
- Průmyslové technika
- Robotizace
- Letecký průmysl
- Kosmonautika
- Automobilový průmysl



## 5.1 DC motor

DC motor s ironless rotorem a silnými permanentními magnety (Obr. 5.1). Špičková technologie pro kompaktní, výkonné pohony s nízkým momentem setrvačnosti. Díky nízkému momentu setrvačnosti, DC motory mají velmi vysokou akceleraci.  $\varnothing 6 \div 65\text{mm}$ ,  $0,3 \div 250\text{W}$ . [5]



Obr. 5.1 DC motor [5]

- **RE program**

RE program jsou energeticky úsporné stejnosměrné motory s účinností větší než 90%, vybavené silnými permanentními magnety ze vzácných zemin. Kompaktní výkonné motory s nízkým momentem setrvačnosti s vysokou akcelerací.  $\varnothing 6 \div 65\text{mm}$ ,  $P = 0,3 \div 250\text{W}$ . [5]

- **RE-max program**

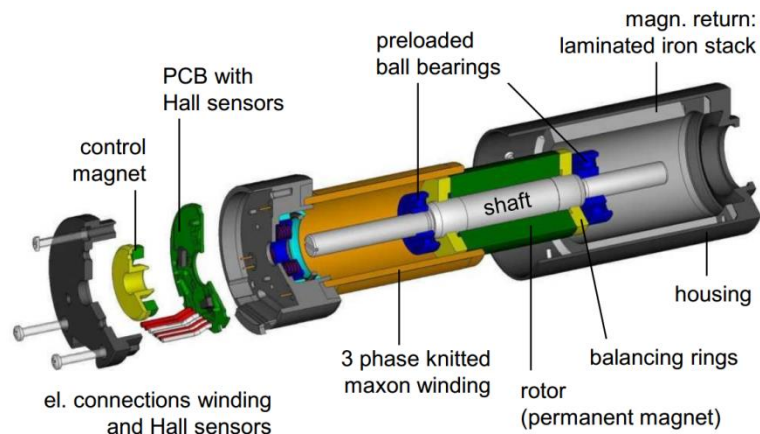
RE-max program je ekonomická RE linie stejnosměrných motorů s neodymovými magnety.  $\varnothing 13 \div 29\text{mm}$ ,  $P = 0,75 \div 22\text{W}$ . [5]

- **A-max program**

A-max program jsou vysoce kvalitní stejnosměrné motory s optimálním poměrem cena/výkon. Stejnosměrný motor vybavený AlNiCo magnety.  $\varnothing 12 \div 32\text{mm}$ ,  $P = 0,5 \div 20\text{W}$ . [5]

## 5.2 EC motor

Elektricky komutované EC motory (Obr. 5.2) vynikají výbornými vlastnostmi točivého momentu, výkonu, extrémně širokém rozsahu otáček a s mimořádně dlouhou životností. Vynikající ovladatelnost pro vysoce přesné polohování motoru.  $\varnothing 6 \div 60\text{mm}$ ,  $P = 1,2 \div 400\text{W}$ . [5]



Obr. 5.2 EC motor [5]

- **EC program**

EC program jsou bezkartáčové dynamické motory s vysokou rychlostí a životností. EC motory mají vynikající momentové charakteristiky, vysoký výkon a široký rozsah rychlostí až 100000ot/min. Vynikající ovladatelnost umožňuje vysoce přesné polohovací úlohy.  $\varnothing 6 \div 60\text{mm}$ ,  $P = 1,2 \div 400\text{W}$ . [5]

- **EC-max program**

EC-max program je ekonomická linie řady EC. Střídavé motory vhodné pro dlouhou dobu provozu.  $\varnothing 16 \div 40\text{mm}$ ,  $P = 5 \div 120\text{W}$ . [5]

- **EC-4pole program**

EC-4pole program jsou vysoce výkonné čtyřpólové motory poskytující maximální výkon na jednotku objemu a hmotnosti.  $\varnothing 22 \div 45\text{mm}$ ,  $P = 90 \div 300\text{W}$ . [5]

- **EC flat program**

Bezkartáčové ploché motory jsou navrženy jako vnitřních a vnějších rotorů. Motor může dosáhnout až 20000ot/min.  $\varnothing 9,2 \div 90\text{mm}$ ,  $P = 0,2 \div 90\text{W}$ . [5]

### 5.3 Převodovky

Planární převodovky, čelní převodovky a speciální převodovky:  $\varnothing 6 \div 81\text{mm}$ ,  $M = 0,002 \div 120\text{Nm}$ . [5]

### 5.4 Senzory

Snímače, DC tachometry a resolvery umožňují přesné vyhodnocení polohy rychlosti a úhlu. A tvoří rámec pro vysoce přesné regulační smyčky. [5]

## 6. Nidec

Nidec je čínská firma založena v roce 1970 v Nishikyo-ku. Motory pro průmyslové aplikace modifikované z variant pro automobilový průmysl. Vykazují výborný poměr cena / výkon a lze je použít v široké škále aplikací. Motory Nidec bývají využívány v mnoha aplikacích pro zajištění pohybu pacientů, protože splňují specifické požadavky pro tyto aplikace. Zvedací mechanismus pacientů lze využít jak v nemocnicích, tak při domácím použití. Zvedání je poháněno motorem s dvoustupňovou čelní převodovkou. Díky malému průměru 43mm a výstupní hřídeli převodovky v ose lze motor nainstalovat přímo do teleskopického ramene zvedacího zařízení. Motor je stíněný a má velmi tichý provoz. [6]

### 6.1 EC motory

Motory Nidec dosahují vysoké účinnosti a dlouhé životnosti. Mají malé setrvačné síly a lze snadno měnit rychlost a smysl otáčení. [6]

### 6.2 DC motory

Klasické stejnosměrné motory s permanentními magnety s vysokou účinností a dlouhou účinností. [6]

## 7. Oriental Motors

Oriental motors je Japonská firma založena v roce 1950 v Tokiu. Všechny typy stejnosměrných bez komutátorových motorů jsou velmi kompaktní. K dispozici jsou řady AXU, AXH a FBL. Liší se dle požadavků na řízení motoru. U všech jsou standardně k dispozici ochranné funkce (výkonová) s výstupem varovného signálu a možností dálkově motor zastavit. [7]

### 7.1 EC Motor

Elektricky komutované DC motory. Parametry motorů Oriental motors  $\varnothing$  60 ÷ 90mm, M až 30Nm, 10 ÷ 90W, N = 100 ÷ 2000ot/min. [7]

## 8. Bühler Motor

Bühler motor je výrobce v německém Schwarzwaldu od roku 1855. A je mezinárodním dodavatel pohonů pro automobilový průmysl, zdravotnictví a všeobecné průmyslové aplikace.

## 8.1 DC Motor

DC motory napájené 12V/24V s momentem 0,4 ÷ 75Nm s otáčkami do 7000ot/min,  $\varnothing$  20 ÷ 80mm.

## 8.2 EC Motor

Elektricky komutované motory napájené 24V s momentem 8 ÷ 40Nm s otáčkami do 6000ot/min,  $\varnothing$  40 ÷ 70mm.

## 9. Použití DC motorů Maxon motor

### 9.1 Použití Maxon motor v kosmonautice

#### 9.1.1 SpaceX Falcon 9 „Dragon“

Firma Maxon motor se podílela s firmou SpaceX na projektu Falcon 9 „Dragon“ (obr. 9.1). Maxon motor dodal velmi přesné pohony pro ovládání natočení solárních panelů k slunci při oběhu kosmické lodi okolo země. Falcon 9 „Dragon“ je bezpilotní kosmická loď pro přepravu materiálu a později i pro přepravu posádky na mezinárodní stanici ISS. Kosmická loď je zkonstruována tak aby se mohla vrátit na povrch země. [9]

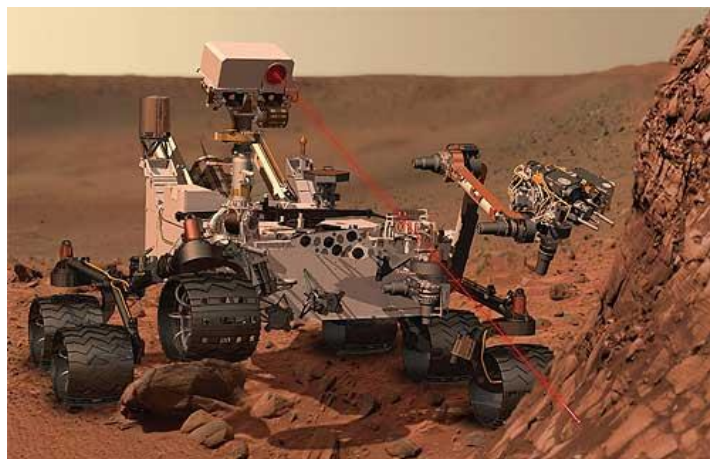


Obr. 9.1 The Dragon spacecraft [9]

#### 9.1.2 Vozítka Curiosity

Dalším projektem firmy Maxon motor s NASA bylo vyslání vozítka Curiosity (obr. 9.2) na povrch Marsu. Na rozdíl od vozítek Opportunity a Spirit může Curiosity cestovat delší vzdálenosti na povrchu Marsu. Curiosity je vybaveno radionuklidovou baterií, která bude dodávat energie po dobu pěti let. To znamená delší provoz bez

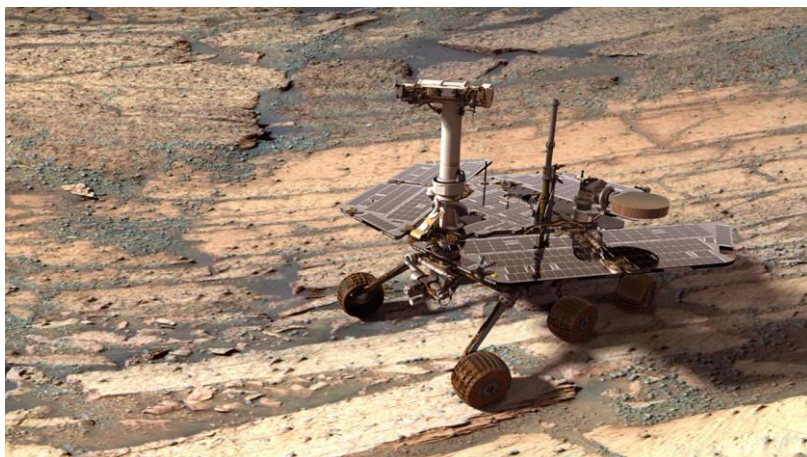
použití solární energie. Curiosity je vybavena přístroji pro studování Marsu. Curiosity je vybavena plynovým chromatografem, který má odhalovat organické sloučeniny. Dále je Curiosity vybaven spektrometrem pro analyzování složení hornin. Pomocí neutronového zdroje bude Curiosity hledat na povrchu Marsu vodu. [9]



Obr. 9.2 Curiosity [9]

### 9.1.3 Vozítka Opportunity a Spirit

Před deseti lety vyslala NASA na Mars dvě vozítka Opportunity (obr. 9.3) a Spirit. Po deseti letech stále dnes Opportunity prozkoumává Mars s ohledem na to, že Opportunity byla pouze konstruována na 90 dní. Opportunity za její setrvání na Marsu ujela cca 39km a stále prozkoumává danou oblast. Ve vozítku Opportunity je namontováno 39 DC motorů od firmy Maxon, které musí odolávat nepříznivým teplotním rozdílům na Marsu  $-120^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . Expedice stále pokračuje brzy Opportunity bude mít opět plně nabité baterie. [5]



Obr. 9.3 Opportunity [5]

## 9.2 Použití Maxon motor v běžných aplikacích

### 9.2.1 Zdravotnická technika

Firma Maxon motors dodává svoje kvalitní mikro pohony do různé zdravotnické techniky např. Chirurgické roboty, které zajišťují složité operace s minimálním řezáním do tkáně. Respirátory, které usnadňují dýchání pacientům. Systémy pro manipulaci s pacienty, které usnadňují manipulaci s ležícími pacienty. Inzulínové pumpy, které usnadňují život pacientů s diabetem. Protézy (obr. 9.4) a robotické končetiny, které usnadňují život lidem po úrazech, aby se mohli vrátit do plnohodnotného života. [5]



Obr. 9.4 Protéza [5]

### 9.2.2 Průmyslová automatizace a robotizace

Firma Maxon motor dodává mnoho pohonu do automatizace a robotizace průmyslu. Např. svařovací systémy, elektrické nářadí (vrtačky, brusky, šroubováky), tiskařské stroje, servisní a průmyslový roboti (automobilový průmysl, strojírenský průmysl), humanoidní roboti (*obr. 9.5*). [5]



*Obr. 9.5 The Soccer robot [5]*

### 9.2.3 Měřicí a zkušební technika

Firma Maxon motor dodává svoje velmi přesné pohony pro měřicí a kalibrační techniku. Ty to přístroje usnadňují práci v průmyslu a zrychlují výrobu. S kombinací robotem dokáže zpřesnit a zrychlit výrobu v průmyslu. Použití např. kalibrační systémy, mikroskopy, posuvná měřítka, spektrální analyzátoři, váhy. [5]

### 9.2.4 Digitální elektronické systémy

Firma Maxon motor dodává svoje pohony do digitálních elektronických systémů např. kamery, fotoaparáty (*obr. 9.6*), projektory, dalekohledy. [5]





Obr. 9.6 Závěrka fotoaparátu [5]

### 9.2.5 Bezpečnostní technologie

Firma Maxon motor dodává svoje pohony pro zabezpečení firem a domácností. Např. čtečky karet, automatické brány, skenovací systémy, automatické otevírání a zavírání, mobilní kontrolní systémy. [5]

### 9.2.6 Automobilový průmysl

Pohony firmy Maxon motor také naleznete ve svém automobilu. Všechny součásti v automobilu, které vykonávají pohyb jsou realizovány pomocí DC motorů nebo EC motorů. V automobilu je mnoho motorů, které ovládají např. palivová čerpadla, klimatizaci, nastavení tlumičů, posilovače řízení, parkovací asistenty.

Firma Maxon motor dodává svoje pohony také do hybridních nebo elektrických automobilů. [5]

### 9.2.7 Letecký průmysl

Firma Maxon motor dodává svoje spolehlivé motory do leteckého průmyslu do různých aplikací. Pohony nalezneme od začátku až po konec letadla. Pohony jsou použity např. klimatizace, seřizovače brzdících klapek, letecké zapisovače, radarové systémy, seřizování sedaček. [5]

### 9.2.8 Spotřebitelské aplikace

Ve spotřebních aplikacích najdete mnoho pohonů od firmy Maxon motor. V dnešní době skoro ve všech zařízeních v domácnosti



obsahují pohony od pračky až po počítač. Pohony od firmy Maxon motor nalezneme např. motorizované golfové vozíky, robotičtí vysavače, elektrická jízdní kola, modely letadel, vlaků a atd. (obr. 9.7). [5]



Obr. 9.7 Model CAT Truck [5]

## 10. Závěr

Hlavní předností DC motorů je jejich kompaktní velikost a hmotnost, kterou využíváme v různorodých aplikacích např. robotice. DC motory dosahují velmi vysokých otáček, ale mají velmi nízký moment. K zvýšení momentu DC motoru použijeme převodovku, která ale sníží otáčky v určitém poměru, zvýší velikost a navýší hmotnost motoru.

DC motory se objevují v různých aplikacích od země až po vesmír. DC motory se používají tam, kde potřebujeme malé kompaktní motory s jednoduchým ovládním a spolehlivostí. Například vozítko Opportunity už 10 let jezdí na Marsu s motory od Firmy Maxon motor. Tyto motory musí pracovat od  $-120^{\circ}\text{C}$  do  $25^{\circ}\text{C}$ . Dalším příkladem je vesmírná loď Dragon kde motory ovládají natáčení solárních panelů. Tady musí motory odolávat kosmickému prostředí. Nemusíte letět do kosmu, abychom tyto motory viděli. Stačí se podívat do automobilu, počítače a jiných zařízení, které každodenně používáte. Tyto motory se používají i zdravotnictvím, kde zachraňují životy nebo lidem pomáhají usnadnění života po úrazech nebo nemocí (protézy, inzulinové pumpy). Ty to motory nás oklopují v každodenním životě, aniž bychom je viděli.

## 11. Použitá literatura

- [1] PAVELKA, J., Elektrické pohony, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2007, 222 stran.
- [2] VRÁNA, V., KOČMAN, S., Ing. KOLÁR, V., Stejnoseměrné stroje [online]. 2006 [19. 10. 2013]. Dostupné z WWW: <[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab\\_stejnosmerne\\_stroje\\_bc.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosmerne_stroje_bc.pdf)>.
- [3] ROUBÍČEK, O., Elektrické motory a pohony, BEN - Technická literatura, Praha, 2004, 167 stran.
- [4] MALÉ STEJNOSMĚRNÉ MOTORY MAXON. [online]. 2014 [cit. 2014-20-01]. Dostupné z WWW: <[http://www.uzimex.cz/soubory/20070103\\_maxon\\_serial.pdf](http://www.uzimex.cz/soubory/20070103_maxon_serial.pdf)>.
- [5] MAXON MOTORS [online]. 2014 [cit. 2014-20-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.maxonmotor.com>>.
- [6] NIDEC CORPORATION [online]. 2014 [cit. 2014-20-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.nidec.com>>.
- [7] ORIENTAL MOTORS [online]. 2014 [cit. 2014-20-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.orientalmotor.eu>>.
- [8] BÜHLER MOTOR [online]. 2014 [cit. 2014-20-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.buehlermotor.com>>.
- [9] Design World [online]. 2014 [cit. 2014-30-04]. Dostupné z WWW: <[http://www.designworldonline.com/maxon-motors-fly-into-outer-space/#\\_](http://www.designworldonline.com/maxon-motors-fly-into-outer-space/#_)>.