

# Elektrické pohony pro náročné úlohy

Ve světě existuje mnoho výrobců elektrických pohonů, které by svým výkonem splnily požadavky kladené na mechanismy určené pro použití v kosmu. Agentura NASA vybrala a použila stejnosměrné pohony švýcarského výrobce Maxon Motor AG. Důvodem jsou vynikající vlastnosti motorů, převodovek s požadovaným výkonem a snímačů značky Maxon, které usnadňují konstrukci kosmické sondy a podporují její spolehlivou funkci (obr. 1).

## Roboty na Marsu - rok poté

V lednu 2004 přistála na planetě Mars dvojice robotů Spirit a Opportunity z kategorie kosmických vozidel – Roverů (obr. 2). Už samotný úspěšný přistávací manévr byl považován za obrovský úspěch – zvláště poté, co předchozí sondy byly při pokusu o dosažení povrchu Marsu zničeny (šlo o americkou Polar Lander a britskou Beagle-II).

Agentura NASA přitom doufala, že alespoň jeden z šestikolových roverů dokáže přežít v drsných podmínkách Marsu plánované tři měsíce. Všechno ale bylo jinak: V lednu 2005 Spirit i Opportunity „oslavily“ na Marsu první rok pobytu. A byl to velmi úspěšný rok, ať už z vědeckého nebo, z technického hlediska.

Pro vědecký úspěch mise je přitom nesmírně důležitá právě mobilita obou zařízení. Dosud totiž všechny aparatury na Marsu byly statické. Tím bylo jejich pozorování zkresleno – nemohly si vybírat cíle pro průzkum a nemohly zaujmout polohu vhodnou pro jeho dosahování. Právě mobilita tyto odstí zásadní nevýhody eliminuje.



Obr. 1. Řez komutátorovým stejnosměrným pohonem od firmy Maxon

Robot Spirit úspěšně přistál 4. ledna 2004 na dně kráteru Gusev. Několik dní po přistání si „prožil klinickou smrt“, když závada v softwaru řídicím paměť flash způsobila selhání počítačového systému (neovladatelná částá

nová spuštění hlavního počítače). Závadu se podařilo rychle opravit; bez hlavního počítače by totiž nebylo možné regulovat teplotu robotu v průběhu noci – a na Marsu panují velmi nízké teploty (až  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), které by mohly citlivou elektroniku nenávratně poškodit.

Spirit ale tento, stejně jako několik dalších drobných problémů (kámen zaschlý v jednom z jeho kol apod.), překonal a během ročního pobytu na Marsu jeho dvojče, robot Opportunity, náhoda tomu chtěla, že místem přistání se stal kráter o průměru dvaceti metrů, který byl pojmenován Eagle Crater (Orlí kráter). Právě krátery jsou pro vědce nesmírně zajímavé útvary, neboť otevírají pohled pod povrch planety – na jednotlivé geologické vrstvy, usazeniny apod. A tak není divu, že Opportunity v kráteru zůstal pracovat dva měsíce. Když z něj vyjel, měl najeto jen 144 metrů – ve zhruba stejné době Spirit uháněl k pohoří Columbia a téměř denně překračoval stometrovou hranici denní ujeté vzdálenosti.

Robot Opportunity se přesunul k výrazně většímu kráteru Endurance s průměrem 200 metrů. V červenci 2004 do něj vjel a zkoumal jej téměř půl roku. V současné době míří Opportunity k dalším kráterům. Vědci se zatím nerozhodli, zda se robot vydá na průzkum dalšího z nich, a který to bude.

Shrnuto, mise robotů Spirit a Opportunity stála více než 800 milionů dolarů, ale komentáři se shodují v tom, že jde o jednu z nejlepších investic NASA.

Spirit ale tento, stejně jako několik dalších drobných problémů (kámen zaschlý v jednom z jeho kol apod.), překonal a během ročního pobytu na Marsu jeho dvojče, robot Opportunity, náhoda tomu chtěla, že místem přistání se stal kráter o průměru dvaceti metrů, který byl pojmenován Eagle Crater (Orlí kráter). Právě krátery jsou pro vědce nesmírně zajímavé útvary, neboť otevírají pohled pod povrch planety – na jednotlivé geologické vrstvy, usazeniny apod. A tak není divu, že Opportunity v kráteru zůstal pracovat dva měsíce. Když z něj vyjel, měl najeto jen 144 metrů – ve zhruba stejné době Spirit uháněl k pohoří Columbia a téměř denně překračoval stometrovou hranici denní ujeté vzdálenosti.

## Pohony roverů

Podívejme se nyní podrobněji na vlastnosti pohonů od firmy Maxon, na jejichž základe byly vybrány k použití mj. při náročných kosmických misích.

## Zvláštní požadavky na pohony

Základním parametrem pohonu pro kosmické mise je jeho hmotnost při požadovaném výkonu. Tuto vlastnost lze vyjádřit hustotou výkonu měřenou např. ve watttech na 1 g hmotnosti nebo na 1  $\text{cm}^3$  objemu pohonu.

Hustota výkonu použitých pohonů ovlivňuje hmotnost celé sondy a projeví se na celkové spotřebě raketového paliva.

Úloha vyžaduje řízení rychlosti v širokém rozsahu a pohyb v obou směrech.



Obr. 2. Vozidlo NASA Mars Rover Spirit 2004 (zdroj:NASA)

Energetická síť sondy i roverů pro napájení motorů je stejnosměrná s malým napětím.

Omezená kapacita napájecích zdrojů vyžaduje pohony s velkou účinností přeměny elektrické energie na mechanickou.

Pohony musí být schopny alespoň krátkodobě vyvinout několikanásobně větší sílu v neočekávaných situacích k překonání zvýšených mechanických odporů.

Požaduje se spolehlivý rozběh i po dlouhé době nečinnosti ve specifické atmosféře a teplotách na Marsu.

## Výjimečné vlastnosti pohonů Maxon

Při výrobě motorů, převodovek a snímačů jsou používány nové materiály a technologie. Z nich některé vyvinula sama firma Maxon, věnující se vývoji a výrobě malých stejnosměrných motorů již několik desetiletí. Už od prvních typů komutátorových motorů s permanentními magnety ve statoru bylo jejím cílem nabízet výrobky s nadprůměrnými vlastnostmi a velmi dlouhou dobou života. Vyvinula a patentovala konstrukci a technologii výroby samonosného trubkového vinutí rotoru (viz dále). Firma Maxon trvale vynakládá značné prostředky na vývoj dokonalejších motorů i ostatních prvků pohonů. Několik obecně přijímaných nedokonalostí v pohonech vyřešila na úrovni výzkumu nových materiálů a vývoji technologií.

## Motory

Motory použité v rovech mají mechanickou komutaci. Komutace ve stejnosměrných

motorech znamená přepínání proudu do sek-  
cí vinutí na základě informace o úhlu natoče-  
ní rotoru. Zajišťuje optimální pravý úhel mezi  
magnetickými poli statoru a rotoru v celém  
rozsahu rychlosti a zatížení. Motor jednodu-  
chými prostředky dosáhne velkého kroučícího  
momentu v širokém rozmezí rychlosti, kterým  
vyniká nad indukčními a krokovými motory.

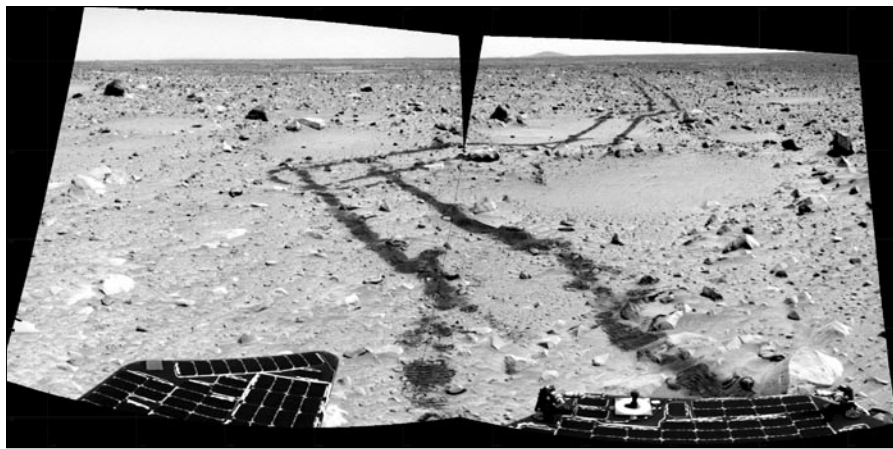
Komutátorové motory Maxon se liší od  
konvenčních stejnosměrných motorů pře-  
devším již zmíněnou odlišnou konstrukcí  
vinutí rotoru. Závity vinutí nejsou obvyk-  
lým způsobem vloženy do drážek na pov-  
rchu jádra z transformátorových plechů, ale  
jsou vytvářeny a uspořádány do tvaru ten-  
ké trubky (obr. 4). Větší pracnost a technolo-  
gická náročnost samonosného vinutí se pro-  
jeví vyšší cenou, ale jsou vyváženy vynika-  
jícími vlastnostmi.

### Hlavní přednosti samonosného vinutí

Hlavní přednosti skýtané samonosným  
vinutím používaným firmou Maxon jsou  
stručně shrnuty v tab. 1. Prozkoumejme je  
podrobněji.

#### Potlačené jiskření kartáčů

Jiskření kartáčů na komutátoru, které je ob-  
vyklou příčinou konce života motoru, je  
v motorech firmy Maxon silně potlačeno.



Obr. 3. Stopy na povrchu Marsu, které zůstávají za robotem Spirit (zdroj: NASA)

Jiskry jsou elektrické oblouky způsobené  
indukovaným napětím při zániku magnetické-  
ho pole přepojovaného segmentu cívký kartá-  
čem. Indukované napětí udrží proud i při vzda-  
lování lamely od kartáče a vytáhne za odcháze-  
jící lamelou jiskru. Jiskření zesiluje s rychlostí  
otáčení. Energie magnetického pole samonos-  
ného vinutí je podstatně menší než energie fe-  
romagnetického jádra. Výsledkem je dlouhá  
doba života komutátoru a kartáčů i při vysoké  
rychlosti motoru kolem  $10\,000\text{ min}^{-1}$ . Z hle-  
diska použití v kosmickém vozidle není doba  
života motorů kritickým parametrem, ale malé  
jiskření se projeví velkou spolehlivostí.

Motory Maxon se vyrábějí s grafitovými  
kartáči nebo s kartáči z drahých kovů. Kovo-  
vé kartáče mají menší a stálejší přechodový

odpor mezi kartáčem a komutátorem. Pro  
další omezení jiskření kovových kartáčů jsou  
mezi lamelami rotoru zapojeny kondenzátory,  
které pohltí indukovanou energii a sníží napě-  
tí vytvářející a udržující jiskru. Jde o metodu  
zvanou *Capacity Long Life (CLL)*, jejímž pů-  
vodcem je rovněž firma Maxon.

#### Velká účinnost

Důsledkem odstranění železného jádra  
je velká účinnost motorů, dosahující 80 až  
90 %, a malá spotřeba energie.

#### Velký měrný výkon

Protože výkon motoru je součin kroučící-  
ho momentu a rychlosti, vede vysoká rychlost  
ke zmenšení rozměrů motoru daného výko-  
nu. Rychlost konvenčních motorů lze zvyšovat  
nad otáčky  $3\,000\text{ min}^{-1}$  jen na úkor doby  
života, která je pak vlivem silného jiskření  
jen několik set provozních hodin. Doba života  
komutátorových motorů Maxon je při rych-  
losti  $8\,000\text{ min}^{-1}$  i více než 10 000 hodin.

Současně motor zaujímá malý prostor.  
Pro permanentní magnet je v motorech Ma-  
xon využita dutina v samonosném vinutí. Vně  
vinutí je pouze tenký feromagnetický plášť,  
který uzavírá magnetický tok.

V kosmických vozidlech jsou použity  
motory RE s jediným kompaktním perma-  
nentním magnetem na bázi vzácných ze-

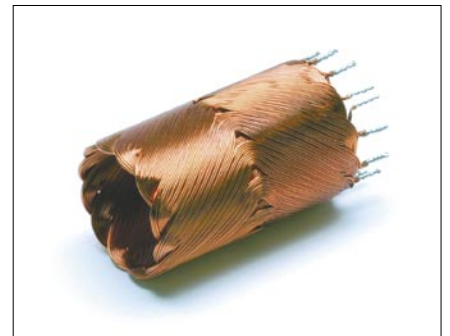
### Hlavní přednosti samonosného vinutí motorů Maxon v kostce

- potlačené jiskření kartáčů,
- velká účinnost a malá spotřeba energie,
- velký výkon při malých rozměrech a dlouhé době života,
- krátká elektrická i mechanická časová konstanta.

umožňují použít velkou vstupní rychlost mo-  
toru a zmenšují rozměry převodovky.

#### Snímače

Další modernizace, která předcházela misi  
Spirit a Opportunity, je magnetický inkre-  
mentální snímač MR. Snímač využívá změ-  
nu ohmického odporu mikroprvků z NiFe,  
vyvolanou změnou směru magnetického pole  
kotoúče se zmagnetovanými 16 až 64 póly.



Obr. 4. Samonosné vinutí podle patentu firmy Maxon

Interpolací přesně matematicky definovaně-  
ho průběhu lze na výstupu vytvořit až 1 024  
impulsů na jednu otáčku. Snímač je málo cit-  
livý na nepřesnost montáže a na otřesy. Zau-  
jímá velmi malý prostor.

### Přínos misí a aplikací NASA pro Zemi

Firma Maxon dodala pro vozidla Rover  
standardní pohony s motory řady RE s mazi-  
vem upraveným pro atmosféru Marsu. Pohony  
budou vystaveny ve stánku firmy Uzimex  
na pražském veletrhu Amper od 5. do 8. dub-  
na 2005. Bude možné si je prohlédnout i na-  
montované na vystavené kopii roveru, vyro-  
bené podle podkladů NASA.

Na veletrhu Amper bude představena  
také rozsáhlá nabídka motorů s mechanic-  
kou i elektronickou komutací, převodovek,  
snímačů, elektromagnetických brzd a řídi-  
cích jednotek. Bude tak možné získat před-  
stavu o tom, jak využít význačné vlastnosti  
pohonů Maxon pro zvýšení úrovně nejrůz-  
nějších zařízení.

Václav Brož,  
UZIMEX PRAHA, spol. s r. o.,  
Tomáš Příbyl,  
(tomas.pribyl@seznam.cz)