

Kvalita prověřená Marsem

Tomáš Příbyl, Ing. Václav Brož, Uzimex Praha, spol. s r. o.

Roboti na Marsu

V lednu 2007 oslaví dva američtí roboti *Spirit* a *Opportunity* třetí výročí svého vysazení na povrchu Marsu. Každý z robotů byl vysazen zvláště na jiném místě s diametrálně odlišnými podmínkami. Ač měli pracovat tři měsíce, jsou v provozu dosud, a to bez větších omezení. Jejich práci lze charakterizovat jedním slovem: obdivuhodná. Překonali všechny plány i očekávání. Nicméně jejich pobyt v drsných podmínkách Marsu (obr. 1) rozhodně není snadnou procházkou. Manažeři NASA se již několikrát obávali, že bude třeba jejich misi prohlásit za skončenou. *Spirit* i *Opportunity* navzdory nástrahám osudu tedy fungují dodnes. Jejich odyssea je příběhem nejen o dosažených úspěších, ale i o překonávání překážek na cestě k nim. Za všechny potíže, které projekt potkaly a ze kterých vozítka vyšla vítězně, jsou v dalším textu zmíněny alespoň dvě situace.

Jen několik dní po úspěšném přistání na Marsu začaly 21. ledna 2004 robot *Spirit* pronásledovat vážné potíže: nepodařilo se s ním navázat spojení (pouze potvrdil příjem dat, a pak se odmlčel). Až druhý den zaznamenalo řídicí středisko jednoduchý signál vyslaný vozítkem, který potvrdil převedení do bezpečnostního módu (po softwarové nebo hardwarové příhodě). Třetí den se podařilo obnovit obousměrné spojení, během kterého bylo zjištěno, že v posledních třech dnech byl šedesátkrát (!) restartován hlavní počítač a že *Spirit* nepřechází do stavu „nočního klidu“ (to je nebezpečné z hlediska možnosti vybití akumulátorů a následného poškození citlivé elektroniky nízkými teplotami). Vlivem nekonečných restartů počítače ztratil *Spirit* pojem o čase a vysílal v nepravidelných relacích náhodné údaje. Nicméně po zjištění těchto skutečností si řídicí pracovníci projektu pochvalovali: „Přežili jsme klinickou smrt, pacientův stav je teď už jen vážný...“ Zároveň identifikovali příčinu problémů: hlavní viník byl počítačový program, který měl za úkol řídit práci se soubory v paměti *flash*. V této paměti bylo ale zbytečně moc souborů a program si prostě „pomáhal“ tak, že restartoval počítač. Po vyslání příkazu, aby *Spirit* přestal používat tuto paměť, problémy jako mávnutím kouzelného proutku přestaly.

Stavem nejvyšší nouze si prošel i bratrský robot *Opportunity* (obr. 2). Vše začalo 26. dubna 2005, kdy měl ujet vzdálenost 90 m, ale zhruba na čtyřicátém metru se zabořil do písečné duny a uvízl v ní. Duna sice nebyla obřích rozměrů (asi 30 cm na výšku),

ale přece jen stačila k tomu, aby se přední i zadní kola (prostřední pravděpodobně také, ale jejich stav nebylo možné zjistit, protože byla mimo dosah všech palubních kamer) *Opportunity* zabořila hlouběji o 12,5 cm, což je jejich poloměr. Do této události najel robot *Opportunity* více než pět kilometrů a pano-

Spirit i *Opportunity* ovšem pracují nejen díky umu svých konstruktérů a provozovatelů, ale i oně nezbytné kapce štěstí. Například když jejich sluneční baterie začaly vlivem všudypřítomného prachu dodávat méně elektrické energie: *Spirit* byl v krátké době „ovanut“ několika vzdušnými víry



Obr. 1. Šestikolový robot zkoumá Mars. Po úspěšné misi sondy 2001 Mars Odyssey vyslala NASA v roce 2003 na planetu Mars dvojici pojízdných geologických laboratoří. Hlavním úkolem dvojice robotů – roverů je pátrání po stopách vodního prostředí a přírodního života na Marsu. Každý rover má při rozměrech 1,5 x 2,3 x 1,6 m (v x š x d) hmotnost 174 kg a obsahuje 31 motorů maxon.

vala obava, že se pro něj stane tato písečná duna místem posledního odpočinku. V laboratořích NASA začaly simulace vzniklé situace, při nichž byla vytvořena umělá duna ze směsi písku, jílu a křemeliny (křemenný prášek). Až 11. května 2005 se *Opportunity* pokusil o první pohyb – natočení kol. Po důkladném vyhodnocení byl o dva dny později vydán povel k zapnutí všech kol na 2,5 obrátky. Za běžných okolností by *Opportunity* urazil vzdálenost asi 2 m, takto se ale posunul jen o 28 mm dopředu, 4,8 mm do strany a 4,6 mm dolů. Patnáctého května se robot posunul o 19 mm dopředu, šestnáctého o 27 mm a sedmnáctého o 21 mm. Tak to šlo i po několik následujících dnů a až 21. a 22. května se podařilo s robotem pohnout vždy o 6 cm. Přitom ještě 26. května bylo zaznamenáno prokluzování o 99,5 %: kola se otočila o 64,8 m, ale skutečně ujetá vzdálenost byla jen 34,8 cm! Ve dnech 1. až 3. června 2005 urazil *Opportunity* každý den přes 10 cm a pak konečně vyjel z písečného zajetí. V průběhu „vysvobozování“ se jeho kola otočila 226krát, což bez prokluzu představuje dráhu 177,2 m, avšak ve skutečnosti to byla vzdálenost pouhých 93 cm. Nicméně řídicí pracovníci NASA byli nesmírně vděční i za tuto vzdálenost, protože se z mobilního robota nestala statická stanice, a mohl tak dále pokračovat ve své „spanilé jízdě“.

a na *Opportunity* se zase kondenzovala vlhkost a vzniklé krystalky vody a prachu dokázal místní vítr „odfouknout“ – inu, štěstí přejí připraveným. A již dnes je zřejmé, že výprava robotů *Spirit* a *Opportunity* patří k těm nejlépe připraveným (a nejplodnějším) v historii kosmonautiky.

Pohony roverů

Na světě existuje mnoho výrobců elektrických pohonů, které by svými výkony splňo-

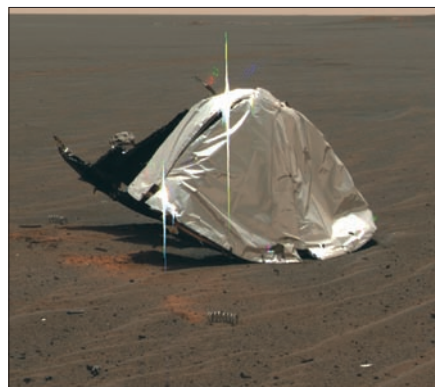


Obr. 2. Téměř umělecká fotografie stínu robota Spirit při západu Slunce

valy požadavky mechanismů kosmické aplikace. NASA vybrala a použila stejnosměrné pohony švýcarského výrobce Maxon, neboť tyto motory, převodovky a snímače mají vynikající vlastnosti, které jsou pro konstrukci a funkci kosmické sondy rozhodující.

Požadavky na pohony

Základním parametrem pohonu pro kosmické aplikace je hmotnost pohonu při požadovaném výkonu. Tuto vlastnost je možné vyjádřit hustotou výkonu ve wattech na jeden gram nebo na jeden krychlový centimetr pohonu. Hustota výkonu použitých pohonů ovlivňuje hmotnost celé sondy a projeví se na spotřebě raketového paliva. Aplikace vyžaduje řízení rychlosti v obou směrech v širokém rozsahu. Energetická síť sondy i roverů pro napájení motorů je stejnosměrná s nízkým napětím. Omezená kapacita napájecích zdrojů vyžaduje pohony s vysokou energetickou účinností. K překonání zvýšených mechanických odporů je třeba krátkodobě vyvinout několikanásobně větší sílu. Nutný je spolehlivý rozběh i po dlouhé době nečinnosti ve specifické atmosféře a teplotách na Marsu.



Obr. 3. Robot Opportunity navštívil i trosky svého tepelného štítu na Marsu (chránil jej při průletu atmosférou, pak byl jako zbytečný odhozený)

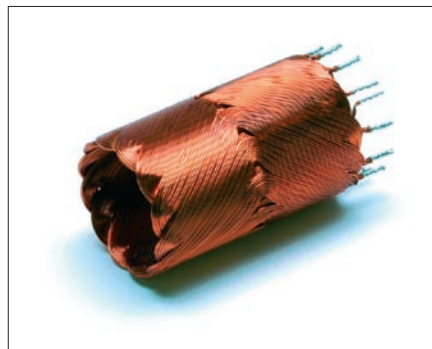
Výjimečné vlastnosti pohonů maxon

Výroba standardních motorů, převodovek a snímačů využívá nové materiály a technologie, z nichž některé vyvinul sám Maxon. Maxon se zabývá vývojem a výrobou malých stejnosměrných motorů s permanentními magnety ve statoru několik desetiletí a již od prvních typů komutátorových motorů požadoval nadprůměrné vlastnosti a dlouhý život. Maxon vyvinul a patentoval konstrukci a technologii výroby samonosného trubkovitého vinutí rotoru. Vývoj dokonalejších motorů i ostatních prvků pohonů probíhá nepřetržitě. Mnoho obecně přijímaných nedokonalostí v pohonech vyřešil výzkumem nových materiálů a vývojem technologií.

Motory

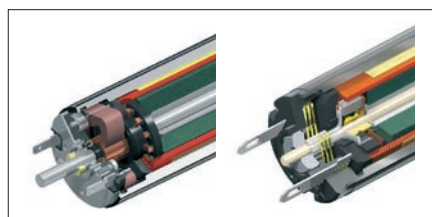
Použité motory mají mechanickou komutaci. Komutace ve stejnosměrných mo-

torech je přepínání proudu do sekcí vinutí na základě informace o úhlu natočení rotoru. Zajišťuje optimální úhel 90° magnetických polí statoru a rotoru v celém rozsahu rychlostí a zatížení. Motor má velký mechanický moment v celém širokém rozmezí rychlostí, a tak vyniká nad indukčními a krokovými motory.



Obr. 4. Samonosné vinutí podle patentu maxon®

Komutátorové motory maxon se liší od konvenčních stejnosměrných motorů především odlišnou konstrukcí vinutí rotoru (obr. 4). Závitky vinutí nejsou vloženy obvyklým způsobem do drážek na povrchu jádra z transformátorových plechů, ale jsou vytvářeny a uspořádány do tvaru tenké trubky. Větší pracnost a technologická náročnost samonosného vinutí jsou vyváženy vynikajícími vlastnostmi motorů. Jiskření kartáčů na komutátoru, které je obvyklou příčinou vyřazení motoru z provozu, je silně potlačeno. Jiskry jsou elektrické oblouky, které vznikají indukovaným napětím při zániku magnetického pole přepojovaného segmentu cívky kartáčem. Indukované napětí udrží proud

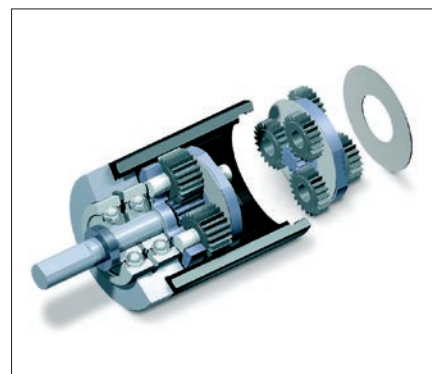


Obr. 5. Uspořádání miniaturních komutátorových motorů maxon řady RE

i při vzdalování lamely od kartáče a vytáhne za odcházející lamelou jiskru. Jiskření se zesiluje s rychlostí otáčení. Energie magnetického pole samonosného vinutí je podstatně menší než energie vinutí s otáčejícím se feromagnetickým jádrem. Výsledkem je dlouhá životnost komutátoru a kartáčů i při vysoké rychlosti přibližně 10 000 min⁻¹. Pro aplikaci v kosmickém robotovi není doba života motorů kritickým parametrem, ale malé jiskření znamená malé opotřebení a vysokou spolehlivost.

Motory maxon se vyrábějí s grafitovými kartáči nebo s kartáči z drahých kovů. Ko-

vové kartáče mají menší a stálejší přechodový odpor na komutátor. Pro další snížení jiskření kovových kartáčů jsou mezi lamelami rotoru zapojeny kondenzátory, které pohltí indukovanou energii a sníží napětí vytvářející a udržující jiskru (Maxonova technologie CLL – Capacity Long Life). Další důsledek odstranění železného jádra je vysoká účinnost motoru 80 až 92 % a malá energetická náročnost. Vysoká rychlost vede ke zmenšení rozměrů motoru daného výkonu. Motor zabere malý objem, neboť dutina v samonosném vinutí je využita pro permanentní magnet. Hmotnost je dále zmenšena



Obr. 6. Konstrukce planetové převodovky s keramickými čepy

použitím motorů řady RE (obr. 5) s permanentním magnetem na bázi vzácných zemin NdFeB s vysokým energetickým součinem. Rotor má velmi malý moment setrvačnosti, který se projeví v krátké mechanické časové konstantě 5 až 10 ms.

Převodovky

Planetové převodovky připojené k motorům jsou vybaveny speciálně vyvinutými čepy planet z keramiky na bázi ZrO₂, které umožňují použít vysokou vstupní rychlost motoru a zmenšují rozměry převodovky (obr. 6).

Snímače

Miniaturní magnetické inkrementální snímače MR, které využívají vliv směru magnetického pole, vytvářejí na výstupu až 1 024 impulsů na jednu otáčku, vykazují malou citlivost na otřesy a zauímají velmi malý prostor.

Pozemské aplikace

Sériově vyráběné pohony maxon se liší od pohonů na Marsu druhem maziva s ohledem na zvláštní prostředí nebo elektrickými převody a konektory, nikoli konstrukcí a vlastnostmi. Jejich vlastnosti pomáhají v pozemských zařízeních úspěšně řešit prostorově omezené úkoly s požadavky na spolehlivost a dobu života.

<http://www.uzimex.cz>