

Nová řada EC motorů Maxon určená pro extrémní podmínky

Požadavky na technická zařízení stále rostou, ať už z pohledu spolehlivosti, bezpečnosti, výkonnosti, komfortu obsluhy a designu či rozsahu provozních podmínek. Zvláště vysoké požadavky jsou kladeny při tzv. kritických úlohách, vyskytujících se zejména v letectví a kosmonautice, v lékařství a těžebním průmyslu. V těchto odvětvích jsou zařízení provozována na samotné mezi jmenovité zatížitelnosti konstrukce a někdy i za ní. Důsledkem je zkrácení doby provozního života zařízení a především větší riziko havárie, tj. menší bezpečnost provozu. Firma Maxon motor přichází na trh s novou řadou elektronicky komutovaných (EC) stejnosměrných motorů s výkonem do 240 W s označením EC 22 HD, určených pro extrémní podmínky. Nová řada produktů by měla rozšířit možnosti použití EC motorů právě v odvětvích vyznačujících se kritickými úlohami a otevřít zde cestu k novým špičkovým technickým řešením.

Významným faktorem ovlivňujícím vlastnosti motorů, převodovek, snímačů a řídicí elektroniky je teplota jejich pracovního prostředí. Při výběru pohonu pro určitý účel je nutné brát tuto závislost v úvahu. K posouzení vhodnosti motoru pro danou úlohu však nestačí znát pouze teplotu okolního prostředí, ale také zatížení a otáčky motoru v závislosti na provozních podmínkách. Nedaří-li se nalézt motor vhodný pro dané zatížení a provozní podmínky, musí konstruktér často zvážit možnost chlazení, a to jak samotného motoru, tak i ostatních komponent. Někdy lze vystačit s pasivním chlazením. Stále častěji je ale třeba použít chlazení aktivní, čímž značně vzrostou náklady na realizaci pohonu, a tím i finální cena celého zařízení.

Motory do teploty okolí až 200 °C

Díky novému konstrukčnímu řešení motorů Maxon řady EC 22 HD (*Heavy Duty*) by měla podstatná část uvedených komplikací při výběru pohonu odpadnout. Nové motory jsou navrženy tak, aby mohly být provozovány při teplotách okolí od -55 až do +200 °C. Veškeré komponenty motoru přitom musí být z principu navrženy na teploty vyšší, popř. nižší, než jsou uvedené mezní teploty okolního prostředí. Toto platí především pro kladné teploty. Každý motor je zdrojem tepla vznikajícího v důsledku ztrát ve vinutí, ztrát v magnetickém obvodu a mechanických ztrát.

Hlavním zdrojem tepla je ztrátový výkon na činných odporech vinutí, jehož velikost lze vypočítat podle vztahu

$$\Delta P_{Cu} = I^2 R \quad (\text{W}) \quad (1)$$

kde

ΔP_{Cu} je ztrátový výkon ve vinutí,

I střední hodnota proudu,

R odpor vinutí.

Ztráty v magnetickém obvodu (vířivými proudy a hysterézní ztráty) vznikají pouze v motorech, v jejichž magnetickém obvodu existuje časově proměnné magnetické pole.

Z uvedených důvodů jsou veškeré vnitřní komponenty nových motorů navrženy tak, aby odolávaly teplotám přinejmenším 240 °C.

Konstrukce

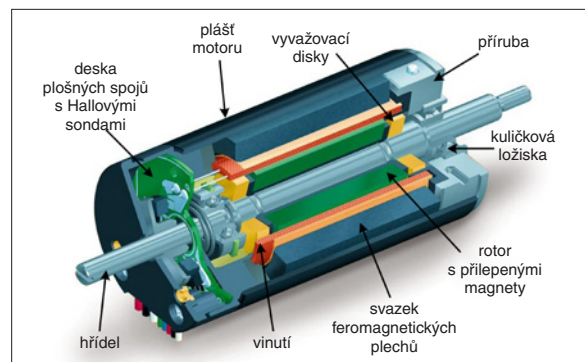
Konstrukční uspořádání klasických válcových EC motorů Maxon je zřejmé z obr. 1. Rotor je tvořen osově vyvrtaným prstencovým permanentním magnetem, který je přilepen ke hřídeli. Homogenní samonosné vinutí značky Maxon je jako součást statoru umístěno uvnitř laminovaného feromagnetického pláště bez pólů. Základním přínosem této koncepce vinutí jsou malé průměry motorů, snížené ztráty v železe a rovnoměrný točivý moment. Dílčí nedostatky této konstrukce spočívají v následujícím:

- lepidlo ve spoji magnet-hřídel při vyšších teplotách měkne,
- vrtat magnety je nákladné a zhoršují se magnetické vlastnosti,
- opakované oteplování a ochlazování zeslabuje lepený spoj.

Motory nové koncepce (obr. 2) mají podobné konstrukční uspořádání jako klasické válcové EC

motory, avšak s tím rozdílem, že magnety se již nelepí ke hřídeli. Detaily uspořádání nového typu rotoru jsou patrné z obr. 3. Magnety jsou uloženy v ocelovém pouzdře, k jehož čelům jsou přivařeny čepy hřídele. Ocelové pouzdro chrání magnety před korozí a zabraňuje jejich poškození (rozlomení) při mimořádně velkých rázech a vibracích. Vzhle-

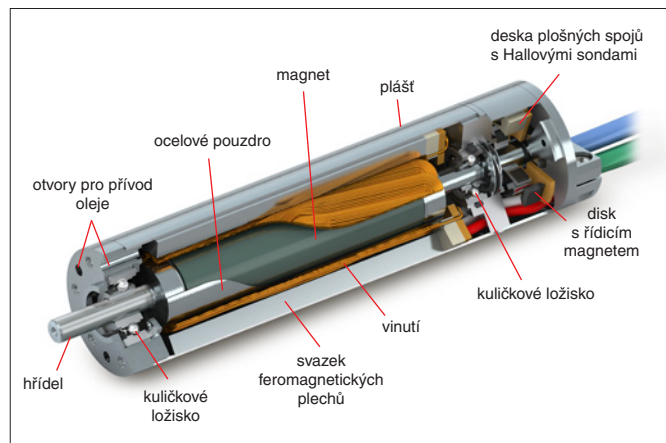
dem k vysokým teplotám je použit magnetický materiál SmCo, který má podstatně vyšší Curieho bod, než je tomu u materiálu FeNdB, použitého na klasických motorech Maxon. Celé pouzdro s magnety je vloženo do statoru. Kromě toho je svařeno vše, co se pohybuje, tedy i ložiska s hřídelí. Při tomto novém konstrukčním řešení odpadají i nedostatky způsobené lepením magnetů, a protože vinutí kotvy je k tělesu statoru přilepeno teplot-



Obr. 1. Klasické konstrukční uspořádání EC motorů maxon

ně odolným lepidlem, jsou tyto nové motory použitelné i při vysokých teplotách okolního prostředí.

Motory řady EC 22 HD jsou vyráběny jako třífázové dvupólové, a to ve dvou provedeních. Jedno provedení je určeno pro pro-



Obr. 2. Konstrukční uspořádání odolných motorů řady EC 22 HD

voz motoru v oleji a druhá konstrukční varianta je určena pro klasické použití, kdy je okolním prostředím vzduch. Konstrukční rozměry obou variant jsou stejné, a to průměr 22 mm a délka do 90 mm. U motorů určených k použití na vzduchu jsou otvory v přírubách tělesa statoru uzavřeny. Je-li motor použit v olejové lázni, jsou otvory v přírubách

Společnost Maxon motor v ČR a SR

Společnost Maxon motor je v České republice a na Slovensku zastupována společností Uzimex Praha, spol. s r. o., jejíž technici zajišťují technickou podporu od vývojové fáze projektu až po zavedení zařízení do výroby a následně také spolehlivou výrobní logistiku. Kontaktní i všechny potřebné technické údaje a katalogy i články o využití produktů společnosti Maxon motor v nejrůznějších odvětvích průmyslu naleznou zájemci na www.uzimex.cz.

otevřeny a musí být zajištěno, aby olej pronikl co nejdříve do motoru.

Ložiska jsou mazána mazacím tukem, který při použití motoru na vzduchu zůstává v ložiskách po celou dobu provozního života motoru a musí vyhovovat požadovanému rozmezí teploty. Při provozu motoru v oleji je mazací tuk olejem vyplaven a mazání zajišťuje olej přítomný v motoru.

Provozní podmínky

Motory EC 22 HD lze provozovat v prostředí s tlakem až 170 MPa a s teplotou v rozmezí od -55 do +200 °C. Mohou být vystaveny vibracím s efektivní hodnotou zrychlení až 25 g a přetížení a rázům o velikosti až 100 g. Maximální otáčky motoru jsou 20 000 min⁻¹ a maximálně přípustná teplota vinutí je 240 °C. Všechny provozní parametry motorů jsou udávány v závislosti na teplotě okolního prostředí. Pro představu jsou v tab. 1 uvedeny hodnoty vybraných parametrů motorů pro teploty 25 a 200 °C.

Tepebné vlastnosti motorů

Hlavním zdrojem ztrátového tepla v motorech, na jehož odvod je třeba se zaměřit, jsou ztráty ve vinutí. U EC motorů je vinutí součástí statoru, takže se přes plášť motoru dobře chladí odvodem tepla do okolního prostředí. Důležitými parametry jsou přitom tepelný odpor přechodu vinutí-plášť a odpor přechodu plášť-okolí. Velikosti těchto tepelných odporů jsou dány především vlastnostmi materiálu, např. tepelnou kapacitou, tvarem, velikostí, barvou, úpravou povrchů atd.

Ke zjištění oteplení vinutí při daném výkonu je třeba sestavit tepelnou bilanci motoru, což lze udělat několika způsoby. Jako nejvhodnější se jeví metoda tepelných sítí, která je založena na tepelných odporech. Nejdříve je třeba sestavit tepelnou síť, která má v daném případě dva uzly, jeden reprezentující vinutí a druhý plášť motoru (obr. 4). Pro každý uzel lze sestavit bilanci tepelných toků, takže se získá soustava rovnic

$$\Delta P_{Cu} = \frac{1}{R_{v-pl}}(t_v - t_{pe}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{R_{v-pl}}(t_v - t_{pl}) - \frac{1}{R_{pl-a}}(t_{pl} - t_a) = 0 \quad (3)$$

kde

R_{v-pl} je tepelný odpor rozhraní mezi vinutím a pláštěm,

R_{pl-a} tepelný odpor rozhraní mezi pláštěm a okolím,

t_a teplota okolí,

t_{pl} teplota pláště motoru,

t_v teplota vinutí motoru.

Vyřešením soustavy rovnic (2) a (3) se zjistí teploty vinutí a pláště v ustáleném sta-



Obr. 3. Uspořádání rotoru v odolných motorech řady EC 22 HD (nahore: ocelové pouzdro s čepý hřídele, dole: vysokoteplotní magnet)

vu při požadovaném výkonu motoru a teplotě okolí. Pro zjištění dynamiky oteplení motoru je nutné do tepelné sítě zakomponovat ještě teplotní časové konstanty pro jednotlivé uzly. Tyto konstanty jsou také uvedeny v katalogu.

Při dosažení údajů pro obě provedení motorů do rovnic (2) a (3) a porovnání výsledků bude patrné, že teplota pouzdra motoru chlazeného vzduchem je bližší teplotě vinutí než teplotě okolí. Naopak pro motor chlazený olejem bude teplota oleje, pouzdra a vinutí přibližně stejná. Tento závěr lze odvodit i z poměrů jednotlivých tepelných odporů pro dané okolní prostředí (tab. 2).

Dalším zdrojem tepla EC motorů jsou ztráty v magnetickém obvodu, tj. ztráty vířivými proudy, a hysterezní ztráty. Určují se obtížněji, protože jejich hodnota závisí

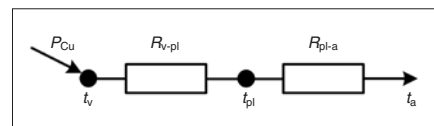
na hmotnosti aktivních částí magnetického obvodu, činném odporu materiálu paketu statoru, ploše hysterezní smyčky materiálu magnetického obvodu a frekvenci změn magnetického pole. Obecně lze říci, že se uplatňují zejména při velkých otáčkách.

Vliv teploty na výkon

Měrný odpor mědi s teplotou roste o 0,392 % na stupeň Celsia, což znamená, že odpor R vinutí motoru je při teplotě 75 °C o 20 % větší než při teplotě 25 °C. K dosažení stejného točivého momentu (proudu v motoru) je proto třeba zvýšit napájecí napětí. Při nulové rychlosti je vliv odporu R na rozběhový moment lineární a s růstem otáček se vliv úbytku na činném odporu vinutí zmenšuje v důsledku zvyšování indukovaného napětí.

Teplota rovněž ovlivňuje tvar hysterezní smyčky materiálu permanentního magnetu, protože pohyby atomů permanentního magnetu se s rostoucí teplotou zintenzivňují. Tím je narušováno orientované uspořádání magnetických domén, kterého bylo dosaženo magnetováním. Pro kvalitu permanentního magnetu je důležitý tvar jeho demagnetizační křivky a především její dva body, remanence B_r a koercitivita H_c . S růstem teploty klesá remanence magnetu, a tudíž i magnetická indukce B_δ ve vzduchové mezeře. Důsledkem je menší točivý moment při stejném velkém proudu ve vinutí statoru.

Ze zmíněných důvodů jsou charakteristiky motorů udávány v závislosti na teplotě



Obr. 4. Tepelná síť motoru EC 22 HD

Tab. 2. Tepelné odpory motorů EC 22 HD

Parametr	Provoz na vzduchu	Provoz v oleji
R_{pl-a} (K/W)	10	0,79
R_{v-pl} (K/W)	0,48	0,75

(obr. 5, obr. 6). Z uvedených charakteristik je patrné, že motory určené k použití v oleji je možné provozovat při vyšších výkonech, a to právě díky lepšímu odvodu tepla z motoru. Charakteristiky jsou rozděleny do několika oblastí podle teploty okolí a bílou barvou je v grafu vyznačena oblast krátkodobého provozu. Jednotlivé odstíny červené znázorňují oblasti trvalého provozu motoru pro danou teplotu. Černě jsou znázorněny výkonové křivky.

Převodovky, snímače, elektronika

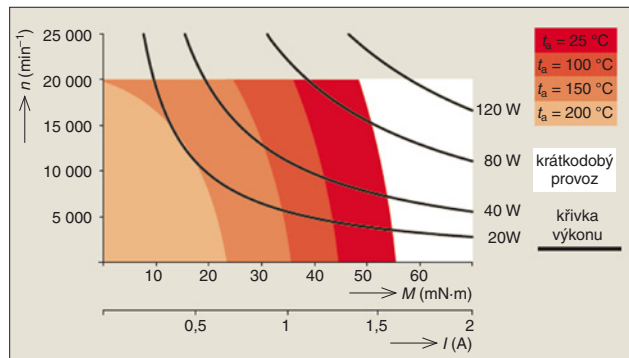
Ve většině úloh, např. při ovládání klapek a ventilů, jsou požadovány velké síly a momenty, a je tudíž nutné použít převodovky. Ty jsou obvykle specifické pro danou úlohu. Zde

Tab. 1. Provozní parametry motorů EC 22 HD v závislosti na teplotě okolního prostředí t_a

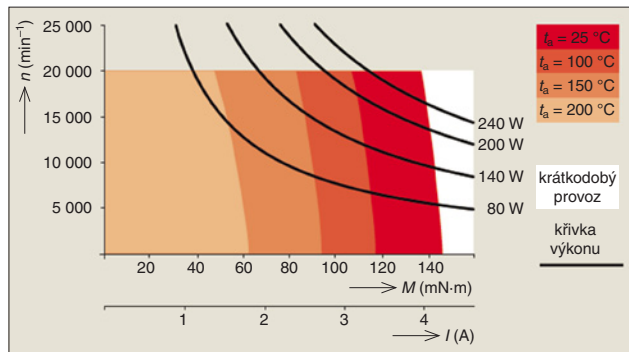
Parametr	Provoz na vzduchu		Provoz v oleji	
	$t_a = 25$ °C	$t_a = 200$ °C	$t_a = 25$ °C	$t_a = 200$ °C
jmenovité napětí (V)	48	48	48	48
otáčky naprázdno (min ⁻¹)	13 300	14 100	12 900	13 900
jmenovité otáčky (min ⁻¹)	11 600	13 200	8 560	10 700
jmenovitý moment (mN·m)	56,8	15	149	57,2
jmenovitý proud (A)	1,69	0,514	4,53	1,88
účinnost (%)	88	85	71	70

jsou dvě možnosti – buď firma Maxon navrhne a vyrobí převodovku na zakázku, nebo zákazník použije svoji či jinou převodovku. Připraveny jsou i převodovky s pohybovými šrouby poskytující lineární pohyb.

Motory mohou být dodávány jak s Hallovy snímači umístěnými na desce plošných



Obr. 5. Provozní rozsahy motoru určeného k použití na vzduchu (n – otáčky, M – točivý moment)



Obr. 6. Provozní rozsahy motoru určeného k použití v oleji (n – otáčky, M – točivý moment)

spojů, kde nosná konstrukce jejich otočné části nesoucí řídicí magnet je rovněž přivařena k hřídeli, tak i bez těchto senzorů. Vlastní Hallovy snímače jsou schopny pracovat při teplotě až -55 °C , mají tedy nadstandardní teplotní odolnost.

Příslušně teplotně odolné musí být i všechny ostatní elektrické a elektronické prvky. Z důvodu odolnosti proti vysokým teplotám má přírodní kabel plášť z teflonu s odolností do 240 °C a desky plošných spojů jsou vyrobeny ze speciálního polyimidu, který při 200 °C sice ztmavne, ale zůstává nepoškozen a je funkční až do teploty 260 °C .

Oblasti použití

Nové konstrukční řešení otevírá EC motorům do výkonu 200 W mnoho nových možností použití v mnoha různých úlohách. Obě verze motorů, k použití na vzduchu i v oleji, najdou obecně uplatnění v prostředí s extrémními teplotami, v prostředí s extrémními rázy a vibracemi podle MIL-STD810F/Jan2000, konkrétně např. ve vrtacích soupravách ur-

čených k prozkoumávání zemského podloží v hloubkách větších než 2 500 m.

Motory přizpůsobené k použití na vzduchu jsou předurčeny pro oblast letectví, kde mohou být použity k pohonu palivových čerpadel spalovacích motorů a ve spouštěcích soustavách turbínových leteckých motorů, kde teploty okolí mohou přesahovat 150 °C . Mimořádně vhodné jsou také pro úlohy spjaté s ultravysokým vakuem (nepatrný vývin plynů až do teploty 240 °C) a v průmyslu např. k pohonu čerpadel a ovládní armatur chladicích systémů tekutých kovů, k řízení parametrů paliva nebo páry, ovládní ventilů turbín v plynových a parních elektrárnách atd.

Závěr

V úlohách, v nichž se již EC motory značky Maxon osvědčily, usnadní tato nová, mimořádně odolná konstrukce jejich další použití. Jako představitel z již několika vesmírných misí lze jmenovat dva šestikolové roboty Spirit a Opportunity, které více než tři roky brázdí a zkoumají nehostinný povrch planety Mars. Původně se předpokládalo, že doba jejich života bude nanejvýš asi tři měsíce. Jejich vytrvalost je tudíž velkým překvapením. Svědčí o kvalitě mj. použitých motorů a dokazuje oprávněnost tvrzení, že jsou určeny pro kritické úlohy. Stejně tomu je u nových motorů EC 22 HD, které jsou již použity ve více než stovce mimořádně náročných úloh.

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou projektu specifického výzkumu Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně *Environmentální a bezpečnostní aspekty výroby a vývoje, výroby a provozu strojů*.

Literatura:

- [1] BROŽ, V. – SINGULE, V.: *Motory Maxon vhodné pro vysoké teploty*. Automa, 2008, roč. 14, č. 9-10, s. 81–83.
- [2] Firemní materiály firmy Maxon motor ag.

Ing. Jiří Toman
 (ytoman21@stud.fme.vutbr.cz),
 doc. Ing. Vladislav Singule, CSc.
 (singule@fme.vutbr.cz),
 Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně

UZIMEX

Špičkové technologie do robotizace a automatizace

maxon motor

Stejnoseměrné motory do 400 W, převodovky, snímače a řízení

SOPAP EXPERT

Automation EXPERT-TUNKERS GmbH

Válcové stoly, převodovky a manipulátory

Fates

A Selenia Company

Klínové a ozubené řemeny, dopravní pásy a řemenice

S+S Coupling GmbH

Spojky s vinovcem, s polyuretanovou hvězdou, magnetické spojky

NIPPON BEARING

Valivá lineární vedení

DIAVITE AG

Měření drsnosti povrchu

RAYTEC SYSTEMS

Laser pro měření geometrie

Agilent Technologies

Laserový dvoufrekvenční interferometr

Srdečně vás zveme do stánku 24 v pavilonu F na Amperu 2011

www.uzimex.cz