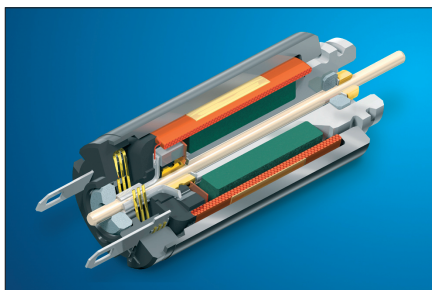


Od analogového k číslicovému řízení malých motorů

Soustava malých elektrických motorů, převodovek, snímačů, brzd a řídicích jednotek od firmy Maxon Motor AG řeší pohyb ve velmi používané oblasti do výkonu 400 W. Aplikace pokrývají pole krátkodobě i trvale pracujících pohonů v automatizaci, přístrojové technice a malých strojích. Základem soustavy jsou stejnosměrné kartáčové motory Maxon typu DC a bezkartáčové motory Maxon typu EC s elektronickou komutací.

Vlastnosti motorů DC

Základem stejnosměrných komutátorových motorů Maxon DC je patentované samonosné vinutí rotoru chráněné ochrannou známkou maxon® (obr. 1). V porovnání s motory s konvenčním vinutím rotoru uloženým v drážkách jádra z železných plechů mají komutátory a kartáče motorů se samonosným vinutím několikanásobně delší dobu života. Při příznivých provozních podmínkách lze očekávat dobu provozního života přesahující 10 000 hodin. Vinutí umožňuje



Obr. 1. Motor DC v řezu

motorům dosahovat vysokých otáček kolem 10 000 min⁻¹. Současně mají motory s vinutím bez železného jádra malé rozměry, dynamický rozběh a lineární regulační charakteristiku. Průměr motoru je malý, protože permanentní magnet je umístěn v dutině vinutí. Například motor DC s nominálním výkonem 150 W má průměr 40 mm.

Jednoduché řízení motorů DC

Otáčky motorů DC lze jednoduše nastavit pouhou změnou napájecího napětí, a to v širokém rozsahu, téměř od nuly. Jejich otáčky bez zatížení jsou přímo úměrné napájecímu napětí (obr. 2). Jaká omezení je třeba při nastavení otáček respektovat, ukazuje příklad motoru v provedení A-max o výkonu 26,4 W. Motor má při jmenovitém napětí 12 V otáčky 5 590 min⁻¹. Nezatížený motor lze napájet napětím od nuly do 15,7 V, kdy dosáhne nejvyšších povolených otáček 7 300 min⁻¹. Otáčky zatíženého motoru poklesnou o 173 min⁻¹

na každý 1 mNm. Při nejvyšším trvale povoleném zatížení 12,8 mNm poklesnou otáčky ze 7 300 min⁻¹ na 5 086 min⁻¹, tj. o 30 %. K dosažení maximálních otáček, tj. 7 300 min⁻¹, při nejvyšším trvale povoleném zatížení 12,8 mNm, je třeba nastavit napětí 20,4 V. Při tomto napětí se motor neprovozuje bez zatížení, protože by se nadměrnými otáčkami poškozoval komutátor.

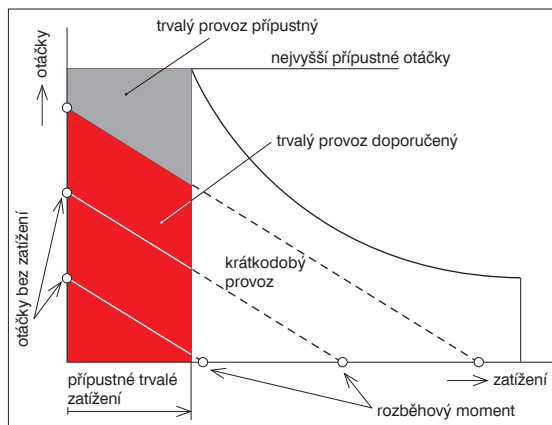
roztočí a jeho otáčky rostou. Přírůstek napětí násobený proudem se celý přemění v mechanickou práci.

Protože moment vyvíjený motorem je úměrný proudu procházejícímu vinutím, lze měřením proudu přesně zjistit moment. Je-li motor DC napájen konstantním proudem, vyvíjí konstantní moment při jakýchkoliv otáčkách v obou směrech.

Při snižování napětí lineárně klesá rozběhový moment, který je přípustný jen jako krátkodobé přetížení.

Analogové řídicí jednotky otáček

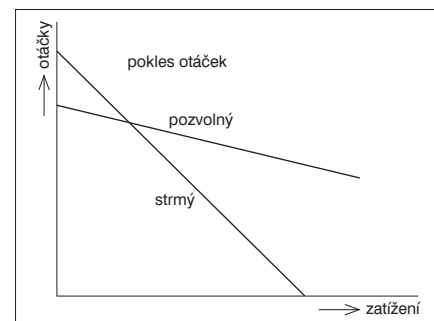
Řídicí jednotky otáček se zpětnou vazbou pro komutátorové motory od firmy Maxon mají pro nastavení požadovaných otáček analogový vstup s rozsahem ±10 V. Jsou čtyřkvadrantové, což znamená, že urychlují i brzdí v obou směrech včetně držení klidové polohy. Proudová i otáčková



Obr. 2. Oblasti provozu motoru DC: závislost otáček na napětí a na zatížení

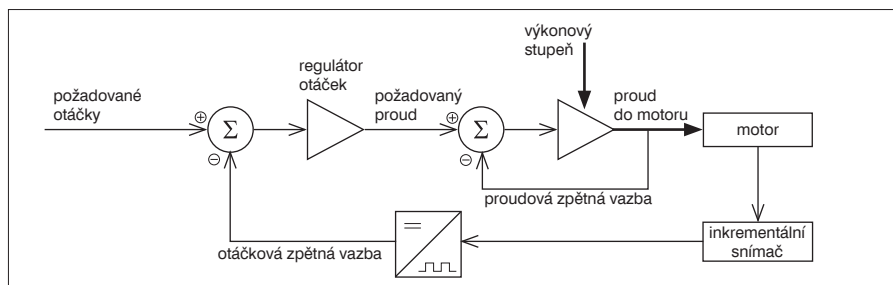
Je zřejmé, že pro jednoduché nastavení otáček napětím jsou vhodné ty motory, jejichž otáčky klesají s růstem zatížení jen pozvolna (např. provedení RE35, u něhož rychlost při plném zatížení 107 mNm poklesne o 11 % – obr. 3).

Při nastavování napětí pro konkrétní požadavky je třeba si uvědomovat následující souvislosti. Otáčky motoru s převodovkou nemají překročit doporučené vstupní otáčky převodovky, aby se nezkracovala její doba života. Napájecí napětí neovlivňuje velikost přípustného trvalého zatížení. Napětí ovlivní pouze otáčky motoru při daném zatížení. Při existujícím zatížení mechanickým momentem lze nastavit napětí, při kterém se motor zastaví, a celý elektrický příkon se mění v teplo. Jestliže zatížení nepřesáhne přípustnou hodnotu, motor se nepřehřívá. Postupným zvyšováním napětí se motor



Obr. 3. Pokles otáček se zatížením u dvou různých motorů

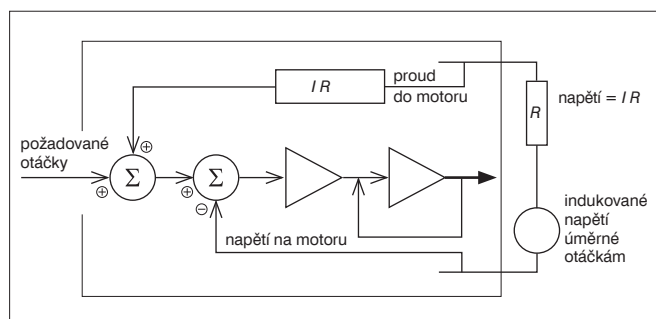
omezení se rovněž nastavují analogově. Pro otáčkovou zpětnou vazbu se zpravidla využívá inkrementální snímač (obr. 4). Místo snímače lze využít lineární závislost otáček a indukovaného napětí ve vinutí motoru. Indukované napětí se rovná napájecímu napětí motoru bez zatížení. Napětí na zatíženém mo-



Obr. 4. Schéma analogové řídicí jednotky otáček s inkrementálním snímačem

toru je vyšší o úbytek na ohmickém odporu. Řídicí jednotka zjistí otáčky tak, že měří napětí na výstupu a odečítá od něj součin proudu a ohmického odporu IR (obr. 5).

Méně výkonná jednotka Maxon LSC řídí výstupní napětí analogově, úbytkem napětí na výkonových tranzistorech (obr. 7). Výkonnější jednotky ADS mají výkonový stupeň s pulsní regulací šířkou pulsu (PWM) na frekvenci 50 kHz. K jednotce ADS, na rozdíl od jednot-



Obr. 5. Schéma řídicí jednotky otáček se snímáním indukovaného napětí

ky LSC, je třeba připojit motor s určitou minimální indukčností, aby proud vinutím nestačil sledovat frekvenci impulsů napětí a jeho průběh se vyhladil. Některé motory je proto třeba doplnit tlumivkou zapojenou v sérii.

Vlastnosti motorů EC

Stejněměrné válcové bezkartáčové motory Maxon EC zachovávají dynamické vlastnosti motorů DC i jejich rozměry. Vinutí je však u nich umístěno ve statoru a rotor je tvořen permanentním magnetem (obr. 8). Vinutí má tři sekce, tedy tři fáze. Komutace, tj. přepínání proudu do sekcí vinutí, neprobíhá mechanickou vazbou přes lamely komutátoru, ale elektronickými spínacími prvky podle informace poskytované snímačem polohy rotoru. Tak je doba života motoru prodloužena na dobu života kuličkových ložisek, tzn. na mnoho desítek tisíc hodin. Motory EC jsou vhodné pro nepřetržitý chod s proměnnou rychlostí i zatížením. Právě tak nejvyšší otáčky dosahují několik desítek tisíc otáček za minutu, neboť nejsou omezeny komutátorem.

Bezkartáčový motor nemůže fungovat bez alespoň nejjednodušší řídicí jednotky, která zajišťuje elektronickou komutaci.

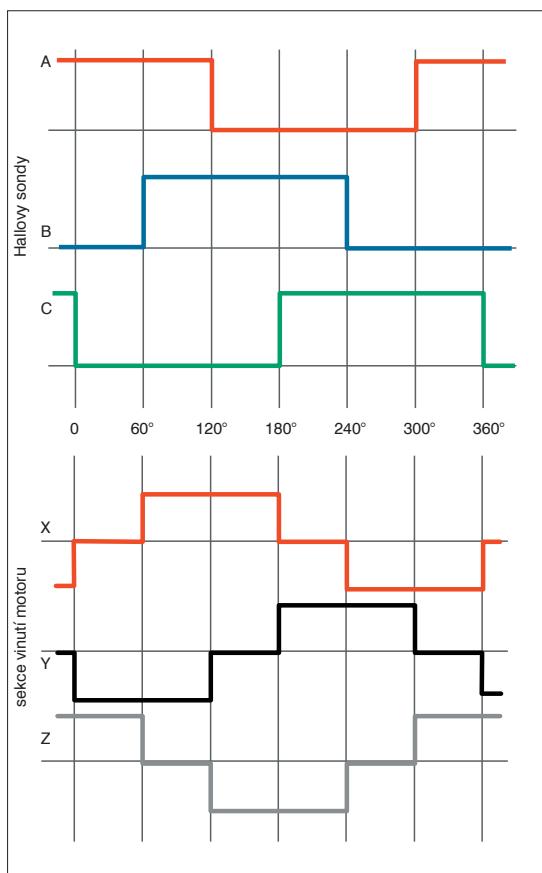
Stejněměrné diskové bezkartáčové motory Maxon EC nepoužívají homogenní vinutí značky maxon®. Jejich vinutí je několika-pólové a při stejném objemu motoru mají menší rychlost a větší mechanické momenty než válcové motory.

Digitální řídicí jednotky otáček

Řídicí jednotky motorů EC mají vesměs digitální regulaci. Kromě elektronické komutace, tj. přepínání proudu do sekcí vinutí, řídí i otáčky se zpětnou vazbou od snímače na motoru. Požadované otáčky lze však zadávat analogově velikostí řídicího napětí.

Jednoduché řídicí jednotky Maxon DEC dostávají informaci o okamžité poloze rotoru ze snímače s třemi Hallovými sondami, kterými jsou standardně vybaveny téměř všechny motory EC. Informace má podobu napětí s obdélníkovým průběhem. Každá sonda má během 180° pro každý pár pólů motoru na výstupu napětí a během následujících 180° nulu. Náběhy napětí dalších sond jsou posunuty o 120°. Jednotka má tedy informaci pro přepnutí proudu do tří sekcí vinutí každých 60° (obr. 6). Obdélníková komutace s takto řídkým přepínáním má za následek kolísání momentu motoru o 14 %. To je ekvivalentní kolísání momentu u kartáčového motoru se třemi lamelami komutátoru.

Dokonalejší řídicí jednotky Maxon DES využívají vedle snímače s Hallovými son-



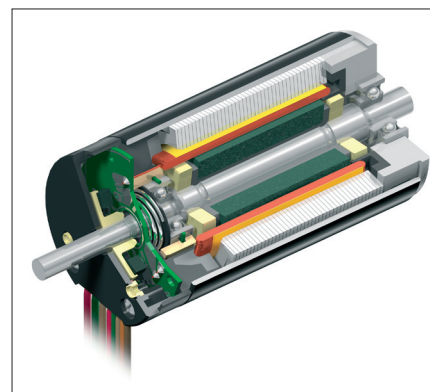
Obr. 6. Průběh signálů z Hallových sond a obdélníkového napájecího napětí motoru EC

dami inkrementální snímač na motoru s desítkami až tisíci impulsů na otáčku. Na základě obou informací vytvářejí jednotky DES na výstupu kvazisinusový průběh napětí.

Napájí-li jednotka DES s kvazisinusovým průběhem napětí válcový motor EC s vinutím typu maxon®, je výstupní moment velmi rovnoměrný, a to i v porovnání s kvalitními kartáčovými motory s velkým počtem lamel komutátoru. Řízení otáček je přesné i při velmi malých otáčkách. Požadovanou hodnotu otá-



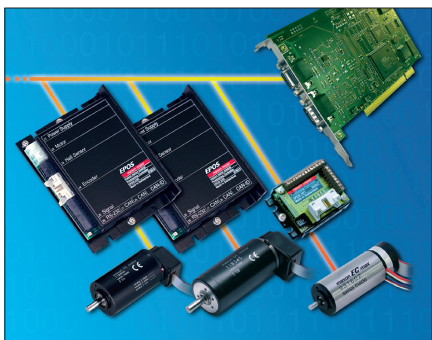
Obr. 7. LSC30/2



Obr. 8. Válcový motor EC v řezu

ček lze zadávat analogově i sériovým digitálním vstupem, včetně sběrnice CAN. K vytváření kvazisinusového průběhu napětí je použita modulace šířky pulsu na frekvenci 50 kHz. Proto je třeba zajistit dostatečnou indukčnost v obvodu vinutí motoru a předjet tak jeho přehřívání, podobně jako při použití řídicích jednotek ADS.

Řízení otáček jednotkami DEC s obdélníkovým průběhem napětí je u dvupólového motoru omezeno na větší frekvence otáčení přesahující 1 000 min⁻¹. Příčinou je malá hustota signálu ze snímače s Hallovými sondami. Většina řídicích jednotek je jednodrážková, tj. řídí rychlost ve zvoleném směru pouze urychlováním. Jednotky umožňují brzdit s neřízeným průběhem jednoduchým



Obr. 9. Jednotky EPOS spolu s příslušnými motory lze připojit na sběrnici

zkratováním vinutí, kdy je motor přepnut do funkce generátoru. Čtyřkvadrantová varianta řídicí jednotky s označením DECV udržuje otáčky ve zvoleném směru řízeným urychlováním i zpoždováním.

Pro diskové motory EC se počítá pouze s obdélníkovou komutací.

Pro nejjednodušší pohony např. ventilátorů a čerpadel bez zvláštních požadavků na dynamiku rozběhu se mohou použít motory EC, které nejsou vybaveny ani snímači s Hallovými sondami. V tom případě se používá řídicí jednotka AECS, motorem před rozběhnutím napřed pootočí nahodilým směrem a informaci pro komutaci si vezme z průběhu indukovaného napětí ve vinutí motoru.

Digitální řídicí jednotky polohy

Řídicí jednotka polohy Maxon MIP řídí pohyb jednoho motoru DC nebo EC podle digitálně vložených požadavků na koncovou polohu, rozběhovou a brzdicí rampu a rychlost otáčení. Respektuje povolený proud a přípustné otáčky. Požadované hodnoty se vkládají prostřednictvím PC apod. V průběhu práce je lze měnit podle požadavků na činnost stroje. Motor musí být opatřen inkrementálním snímačem. Při řízení jednoho motoru jednotka komunikuje po lince RS-232, při

řízení několika motorů po lince RS-485 s použitím sběrnice MIP-bus.

Jednotka MIP může pracovat i samostatně bez počítače v tzv. módu I/O, ve kterém se kombinací napětí na určených vstupech vybírá z variant předem naprogramovaných parametrů dráhy, otáček a jejich průběhu.

Podstatně levnější než jednotky MIP jsou řídicí jednotky polohy řady EPOS. Komunikují s PC apod. po lince RS-232 nebo po sběrnici CAN (obr. 9). Umožňují u motorů DC nebo EC řídit nejen polohu rotoru, ale i proud a rychlost s nastavitelnými přechodovými rampami. Při řízení jednoho motoru komunikují po RS-232. Nepracují však v módu I/O (bez řídicího počítače).

Řídicí jednotky polohy MIP i EPOS mají v módu pro motory EC sinusový průběh napájecího proudu při modulaci výkonu metodou PWM.

Ing. Václav Brož,
UZIMEX PRAHA, spol. s r. o.