

Řízení otáček motorů EC s výkony do 400 W

Stejnsměrné elektromotory s elektronickou komutací, označované jako motory EC, se používají v případech, kdy je vedle význačných vlastností komutátorových motorů navíc požadována také velmi dlouhá doba života pohonu. Motory EC potřebují pro svou činnost elektronickou řídicí jednotku, která zajišťuje komutaci.

Uspořádání a činnost motorů EC

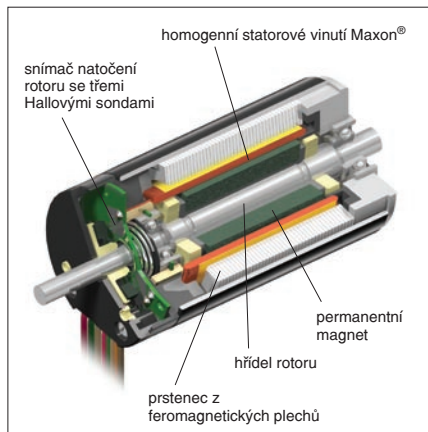
Motory EC od firmy Maxon Motor AG mají pro každý pár pólů permanentního magnetu v rotoru tři sekce vinutí ve statoru. Komutace napájecího proudu spočívá v přepínání proudu do sekcí statorového vinutí motoru v závislosti na natočení rotoru s magnetem. Řídicí jednotka přepojuje proud podle informace ze snímače natočení rotoru, který je součástí motoru nebo je k němu připojen. Snímač musí být orientován tak, aby směr magnetického pole generovaného statorovou cívku předbíhal magnetické pole permanentního magnetu rotoru o 90° elektrických, protože tak vzniká největší mechanický hnací moment. Využití informace o poloze rotoru pro přepínání proudu odlišuje motor EC od synchronního motoru, který má stejnou konstrukci. Odlišnost spočívá v dodržení optimálního úhlu obou magnetických polí v celém rozsahu rychlostí a zatížení.

Uspořádání motoru EC je ukázáno na obr. 1. V motoru se spolu s hřídelí otáčí permanentní magnet, označený na obrázku zeleně. Na magnet působí magnetické pole statoru, vytvářené homogenním vinutím podle patentu firmy Maxon, které se uzavírá přes prstenec z feromagnetických plechů. Pole statoru se natáčí do optimálního směru elektronickým přepínáním proudu do sekcí vinutí. Elektronika dostává informaci o natočení rotoru ze snímače se třemi Hallovými sondami umístěným u čela motoru.

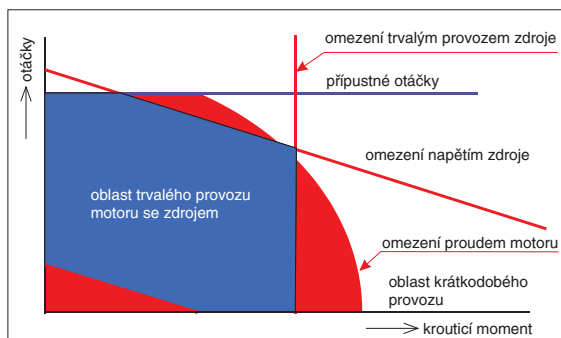
Vlastnosti motorů EC jsou v mnohém shodné s vlastnostmi stejnosměrných motorů DC, které přepínají proud mechanickým komutátorem s kartáči. Shoda je ve velkém záběrném momentu a v možnosti nastavovat otáčky motoru změnou napájecího napětí v širokém rozsahu v obou směrech, aniž by se přitom měnil krouticí moment motoru. Momentová konstanta motoru je udávána v newtonech, popř. milinewtonech na ampér (N·m/A, mN·m/A).

Moment motoru při stejném proudu je u obou druhů motorů konstantní v celém rozsahu rychlostí, včetně nulových otáček. S rostoucí rychlostí v motorech EC ovšem rostou ztráty hystereze a vířivými proudy ve

feromagnetickém obvodu statoru, protože se v něm komutací mění velikost a směr magnetického pole. Důsledkem je znatelný pokles přípustného proudu i momentu při velkých rychlostech otáčení. Musí se totiž odvést



Obr. 1. Motor EC v částečném řezu (viz text)



Obr. 2. Provozní oblasti motoru EC

teplo vznikající jak ohmickými ztrátami ve vinutí, které se s otáčkami nemění, tak i ztrátami v magnetickém obvodu. Pro zachování tepelné bilance chlazení motoru je nutné růst ztrát v magnetickém obvodu vyvážit zmenšením proudu v motoru I , a tím ztrát v měděném vinutí s odporem R (velikosti I^2R). Oblast trvalého provozu motoru EC je patrná z obr. 2, kde pravý okraj červeně ozna-

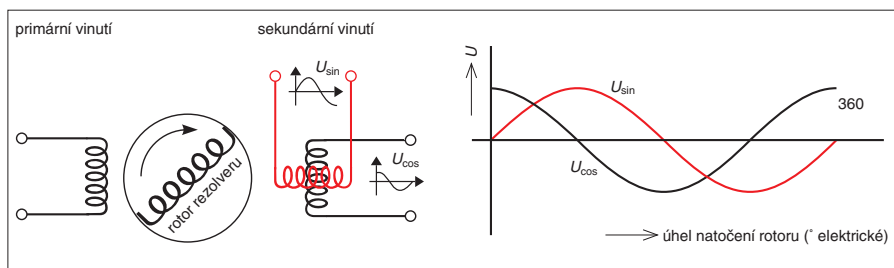
čené oblasti reprezentuje mezní proudy do vinutí motoru při různých otáčkách a trvalém provozu. Při použití větších proudů se motor nestáčí dostatečně ochlazovat, teplota vinutí vzroste a motor se zničí. Stejně omezení platí pro krouticí moment, který je s proudem svázán momentovou konstantou. Úbytek přípustného momentu při velkých rychlostech otáčení, který je způsoben magnetickými ztrátami ve statoru, má ve skutečnosti pozvolnější charakter. Horní okraj červené oblasti je tvořen omezením otáček daným pevností rotoru při působení odstředivých sil. Řídicí jednotky chrání motor před poškozením tak, že mají nastavitelné přípustné otáčky i trvalé proudy. Některé jednotky připouštějí i větší krátkodobý proud než mezní s respektováním průběhu pulsního a krátkodobého zatížení.

Sinusový průběh proudu analogově

Průběh přepínání proudu do sekcí vinutí během otáčky rotoru závisí na charakteru signálu snímače natočení a na schopnosti řídicí jednotky tento signál zpracovat. Někteří výrobci, mezi nimiž byla v minulosti i firma Maxon Motor, používají pro snímání polohy rotoru rezolver se dvěma analogovými napěťovými výstupy ve tvaru fázově posunutých sinusovek (obr. 3). Primární vinutí rezolveru je napájeno střídavým napětím. Ve dvou sekundárních cívkách se indukují napětí závislá na úhlu natočení vinutí rotoru.

Řídicí jednotka motoru vytvoří na základě výstupních napětí z rezolveru tři napájecí napětí sinusového průběhu, každé pro jednu sekci vinutí. Napětí jsou fázově posunuta o 120° elektrických, čímž se dosahuje plynulého natáčení magnetického pole statoru podle natočení rotoru a rovnoměrného krouticího momentu v průběhu otáčky.

Analogový výstupní signál z rezolveru je charakteristický svou citlivostí na elek-

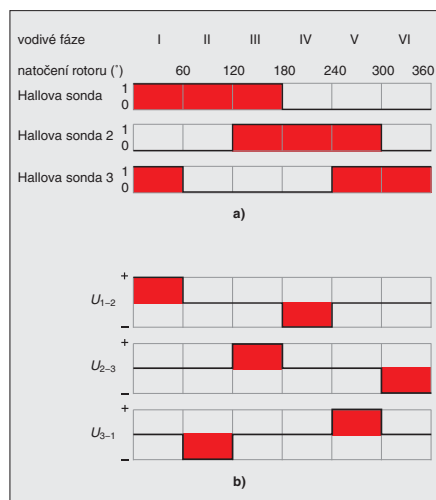


Obr. 3. Rezolver a sinusové průběhy řídicích signálů

tromagnetické rušení v přívodech k motoru a omezenou přesností (časovou stabilitou). Naproti tomu ovšem rezolver může pracovat i v radioaktivním prostředí, kde snímače obsahující polovodičové prvky nefungují. Firma Maxon dosud dodává některé válcové motory s výkonem 80 až 400 W s rezolventem právě pro použití v prostředí s nukleárním zářením. Analogové řídicí jednotky tato společnost již nevyrobí.

Obdélníkový průběh proudu a Hallové sondy

Firma Maxon před několika lety přešla z analogového řízení komutace na digitální. Dynamika řízení motoru, rozsah řízených



Obr. 4. Průběhy signálů ze snímače se třemi Hallovými sondami (a) a napětí mezi větvi vinutí motoru

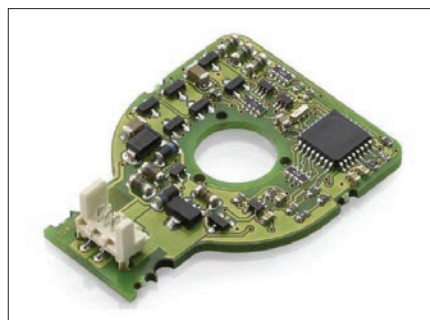
otáček se zpětnou vazbou a rovnoměrnost kroučícího momentu jsou při digitálním řízení závislé na hustotě signálu použitého snímače a na schopnosti řídicí jednotky zpracovat signál. Lze volit jednoduchý nebo složitější způsob řízení v souladu s požadavky na funkci a cenu.

Při jednoduchém způsobu řízení používaném firmou Maxon je průběh proudu ve vinutí obdélníkový. Pro informaci o natočení rotoru se zpravidla použije snímač se třemi Hallovými sondami, které jsou standardním vybavením motorů EC. Sondy snímají intenzitu magnetického pole zvláštního permanentního magnetu na rotoru nebo pole výkonového magnetu rotoru. Vzniklé napětí tvarují do obdélníkové formy. Každá sonda dvou pólového motoru vytváří během jedné otáčky jeden kladný obdélník o době trvání rovné polovině periody otáčení. Průběhy napětí ze tří sond jsou fázově posunuty o 120°. Řídicí jednotka dostává s využitím vzestupných i sestupných hran informací o natočení rotoru šestkrát za otáčku dvou pólového motoru, což jí umožňuje komutovat proud s obdélníkovým průběhem šestkrát za otáčku (obr. 4). Pole statoru se tedy při jed-

noduchém způsobu řízení s použitím obdélníkové komutace natáčí po skocích, zatímco rotor s magnetem plynule. Kroučící moment motoru je tudíž zvlněný.

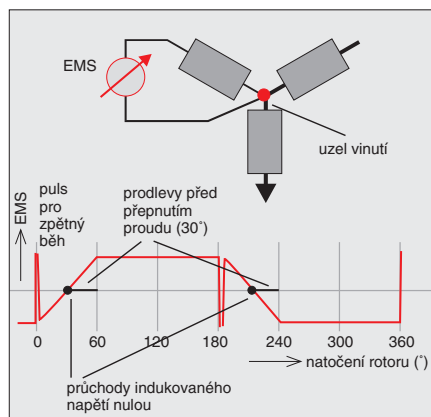
Obdélníková komutace je jednoduchá, řídicí jednotka je levná a umožňuje motoru vytvářet velký záběrný moment. Průběh momentu během otáčky je zvlněný o 14 %, protože rotor se v úseku mezi dvěma přepnutími proudu otočí o 60° a úhel magnetických polí se odchyluje od ideálních 90° o ±30°. Se změnou úhlu magnetických polí se mění i moment.

Řídicí jednotky od firmy Maxon s obdélníkovou komutací obsahují spolu s obvody pro přepínání proudu i regulátory rychlosti se zpětnou vazbou využívající snímač s Hal-



Obr. 5. Zákaznická řídicí jednotka značky Maxon

lovými sondami. V důsledku malé hustoty řídicího signálu lze dosáhnout stabilní regulace teprve při otáčkách 500 až 1 000 min⁻¹ a větších. Po spuštění řídicí jednotky přivedením napětí na vstup ENABLE se motor dynamicky rozběhne na dostatečně velkou nastavenou rychlost, kterou pak regulátor udržuje i při změnách zatížení. Jednokvadrantové jednotky DEC 24/1 a DEC 50/5 regulují rychlost pouze urychlováním v nastaveném směru, čtyřkvadrantové DECV50/5 a DEC70/10 urychlováním i brzděním. Zastavení motoru se iniciuje signálem na vstupu STOP. Jednotka zastaví motor zkratováním vinutí.



Obr. 6. Odvození informace pro obdélníkovou komutaci z průběhu napětí indukovaných v sekcích vinutí motoru vzhledem k uzlu při zapojení do hvězdy

Uvedeným způsobem lze řídicí jednotku s obdélníkovou komutací použít i pro přejíždění mezi definovanými polohami. Směr pohybu se u jednotek DEC 24/1, DEC 50/5 a DECV50/5 určí signálem na vstupu DIRECTION, rychlost přejíždění se nastaví analogovým signálem v rozmezí 0 až +5 V na vstupu SET VALUE.

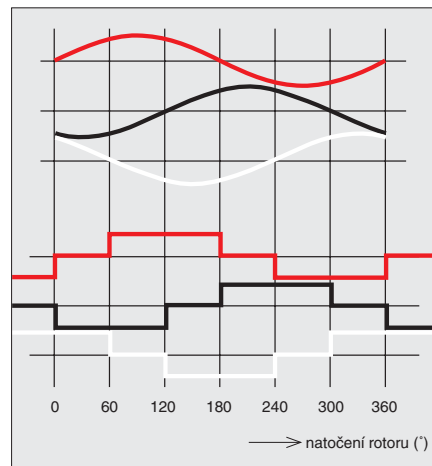
U jednotky DEC70/10 se rychlost a směr přejíždění nastaví přivedením napětím v rozmezí ±10 V na vstup SET VALUE. Při malých otáčkách v rozmezí ±1 000 min⁻¹ nelze rychlost řídit zpětnou vazbou od snímače s Hallovými sondami. Je ale možné přepnout řízení otáček do módu I × R, při němž si řídicí jednotka vypočítá otáčky motoru podle elektromotorické síly indukované ve vinutí. Přesnost řízení se přitom mění s teplotou motoru.

Diskové více pólové motory se provozují výhradně s řídicími jednotkami s obdélníkovou komutací.

Pro úlohy, v nichž standardní řídicí jednotky nesplňují optimálně požadovanou funkci nebo prostorové požadavky, vyvíjí firma Maxon zákaznické řídicí jednotky (obr. 5).

Obdélníkový průběh proudu bez snímače

V úlohách nevyžadujících rychlý rozběh pohonu lze použít levnější motor EC zcela bez snímače. Pro jeho napájení je upravena řídicí jednotka AECS 35/3, která uvádí motor do chodu několika postupnými impulsy do sekcí vinutí a za jeho pohybu určuje polohu rotoru podle napětí indukovaného ve vinutí. Jak se informace pro obdélníkovou komutaci odvozuje i bez snímače z průběhu indukovaných napětí v sekcích vinutí motoru vzhledem k uzlu při zapojení vinutí do hvězdy, ukazuje obr. 6. Protože indukované napětí roste s otáčkami, využívá se oblast indukovaného sinusovky okolo změny její polarity. Horní část sinusovky je odříznuta. Jak je ukázáno, proud se přepíná 30° úhlových pro průchodu napětí nulou a časové zpoždění pro úhel 30° se mění s rychlostí.



Obr. 7. Proud ve větvích při sinusové (nahore) a obdélníkové (dole) komutaci

Řízení bez snímače je vhodné pro ventilátory a pumpy. Často se používá také pro diskové motory EC.

Sinusový průběh proudu

Dosáhnout rovnoměrného průběhu momentu, dynamického chování motoru a přesného čtyřkvadrantového řízení umožňují řídicí jednotky DES 50/5 a DES 70/10, které pulsním způsobem vytvářejí napájecí proudy jednotlivých větví vinutí sinusového tvaru (viz obr. 7, v jehož dolní části jsou pro porovnání zakresleny proudy větví při obdélníkové komutaci). Informaci, podle níž se zvětšují nebo zmenšují napájecí proudy, jednotky získávají ze standardního snímače s Hallovy sondami uvnitř motoru a z vnějšího inkrementálního snímače natočení rotoru. Jednotky DES jsou vybaveny jak analogovým vstupem k nastavení

požadovaných otáček napětím v rozmezí ± 10 V nebo 0 až +5 V, tak i digitálním zadáváním požadované rychlosti prostřednictvím sběrnice CAN nebo RS-232. Po sběrnici lze nastavovat i další parametry řídicí jednotky a zjišťovat stav motoru.

Řízení otáček jednotkou EPOS

Jednotka EPOS řídí polohu rotoru, otáčky nebo krouticí moment motoru vybaveného snímačem s Hallovy sondami a inkrementálním snímačem natočení rotoru. Výkonový stupeň vytváří pulsním způsobem napájecí napětí sinusového tvaru. Nastavit řídicí parametry a zadávat rychlosti lze pouze po sběrnici CAN nebo RS-232. Jednotka EPOS P pracuje po spuštění samostatně bez nadřazeného PC nebo PLC v naprogramovaném cyklu. Může také řídit činnost dalších jednotek. Jest-

liže se jednotka EPOS použije k řízení otáček v polohovém módu, postará se i o kompenzaci zpoždění polohy vzniklého regulační odchylkou otáček při změně zatížení.

Informace na veletrhu Amper

S možnostmi použití malých stejnosměrných motorů a se způsoby jejich ovládní moderními miniaturními programovatelnými řídicími jednotkami otáček, polohy rotoru i momentu EPOS a EPOS P se lze formou prohlídky vystavených výrobků, technických konzultací i účastí na odborných přednáškách seznámit na veletrhu Amper 2007 v expozici firmy Uzimex Praha v hale 3, úseku A, ve stánku 16.

*Ing. Václav Brož,
Uzimex Praha spol. s r. o.*