

doc. Ing. Martin NOVÁK, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav přístrojové a řídicí techniky

Bezkartáčové motory

Brushless Motors

Recenzent
 Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.

S rostoucími požadavky na úspory energií a zvyšování účinnosti zařízení se do popředí v některých aplikačních oblastech dostávají „bezkartáčové stejnosměrné motory“. Cílem tohoto článku je stručně ukázat, jak pracují, jak jsou zkonstruované, jaké mají parametry a charakteristiky, typické aplikace a způsoby jejich řízení.

Klíčová slova: BLDC, elektrické pohony, motor, pohon

With increasing demands for energy savings and better efficiency of appliances, the “brushless direct-current motors” get to the forefront in some application areas. The aim of this article is to briefly show how they work, how they are constructed, what are their parameters and characteristics, typical applications and methods of their control.

Keywords: BLDC, electric drives, motor, drive

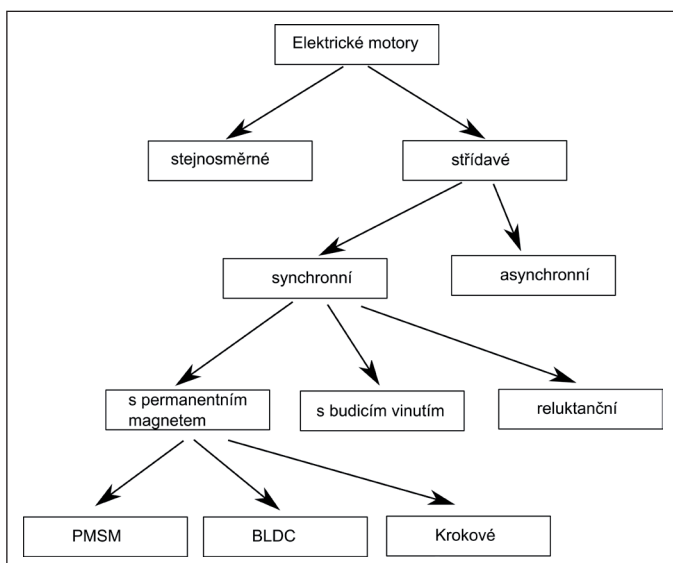
ÚVOD

Požadavky na úspory energií a zvyšování účinnosti zařízení v současnosti neustále rostou a tím se do centra pozornosti v některých aplikačních oblastech dostávají tzv. „bezkartáčové stejnosměrné motory“. Hlavním záměrem tohoto příspěvku je ukázat zejména:

- jak pracují,
- jak jsou zkonstruované,
- jaké mají parametry a charakteristiky,
- typické aplikace,
- způsoby řízení.

Přestože by tak bylo možné usuzovat z jejich názvu, bezkartáčové „stejnsměrné“ motory, dále označované jako BLDC, nejsou ve skutečnosti motory stejnosměrné, ale motory střídavé. Nejčastěji se jedná o motory třífázové. Stejnsměrné motory jsou v tomto textu označeny jako DC (z anglického Direct Current) motory.

Základní rozdělení elektrických motorů je znázorněno na obr. 1, kde jsou ukázány pouze některé vybrané typy se zaměřením na synchronní stroje. Zkratka PMSM (z anglického Permanent Magnet Synchronous Machine) je použita pro synchronní motor s permanentními magnety,



Obr. 1 Základní rozdělení elektrických motorů

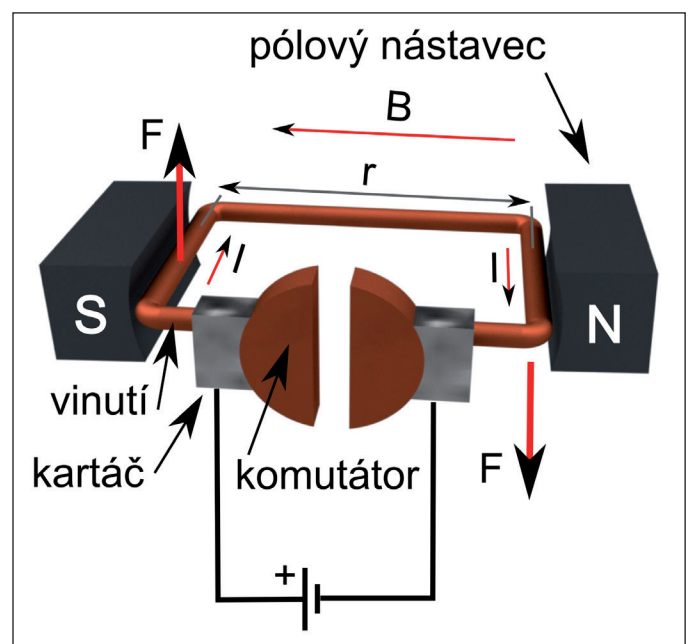
Fig. 1 Basic classification of electric motors

zkratka BLDC (z anglického Brushless DC motor) pro bezkartáčové „stejnsměrné“ motory. BLDC motory mají také permanentní magnet jako zdroj magnetického toku na rotoru. Od PMSM se liší tvarem magnetické indukce ve vzduchové mezeře, což bude vysvětleno dále.

BLDC VS. DC MOTORY

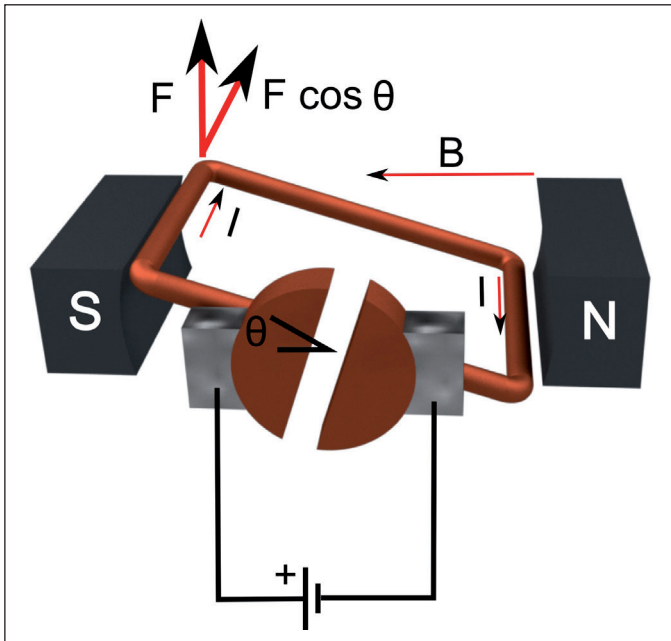
Funkci BLDC motoru si ukážeme srovnáním s klasickým DC motorem. Vysvětlíme nejprve funkci DC motoru, jehož základní části jsou znázorněny na obr. 2. Základními částmi DC motoru jsou vinutí, zde zobrazené na příkladu pouze jednoho závitu, pólové nástavce, komutátor a kartáče.

Pólové nástavce a kartáče jsou umístěné na statoru, vinutí a komutátor na rotoru. Komutátor je složený z lamel, zde jsou zobrazeny dvě. Pólové nástavce slouží k přivedení magnetického toku do vzduchové mezery mezi státorem a rotorem; zdrojem magnetického toku může být permanentní magnet nebo budící vinutí. Písmenem S je označený jižní pól permanentního magnetu, písmenem N pól severní.

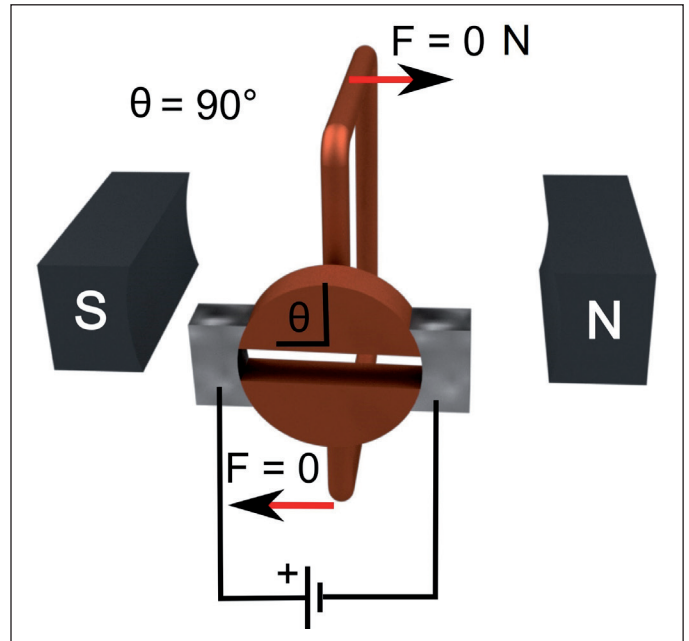


Obr. 2 Princip DC motoru, definice pojmů

Fig. 2 Principle of DC motor, terms definition



Obr. 3 Princip DC motoru, obecná poloha
Fig. 3 Principle of DC motor, general position



Obr. 4 Princip DC motoru, poloha 90°
Fig. 4 Principle of DC motor, position 90°

Je třeba poznamenat, že zobrazené uspořádání je skutečně pouze principiální. Ve skutečném motoru musí být např. magnetický obvod statoru uzavřený, vinutí rotoru má více závitů než jeden, komutátor má více lamel než jen zobrazené dvě atd.

Při připojení stejnosměrného zdroje do obvodu začne procházet proud I , a to ze zdroje přes kartáč, lamelu komutátoru, do vinutí a odtud zpět do druhé lamely komutátoru, druhého kartáče a zpět do zdroje. Vinutí je umístěné v magnetickém poli s magnetickou indukcí B , vyvozovanou permanentním magnetem na statoru nebo budícím vinutím.

Na vinutí působí síla F . Za předpokladu homogenního magnetického pole a přímého úseku vodiče lze pro sílu F psát:

$$F = B \times I \cdot l \quad (1)$$

kde je:

B vektor magnetické indukce,
 I proud procházející vodičem,
 l délka přímého úseku vodiče v magnetickém poli.
Symbol \times vyjadřuje vektorový součin.

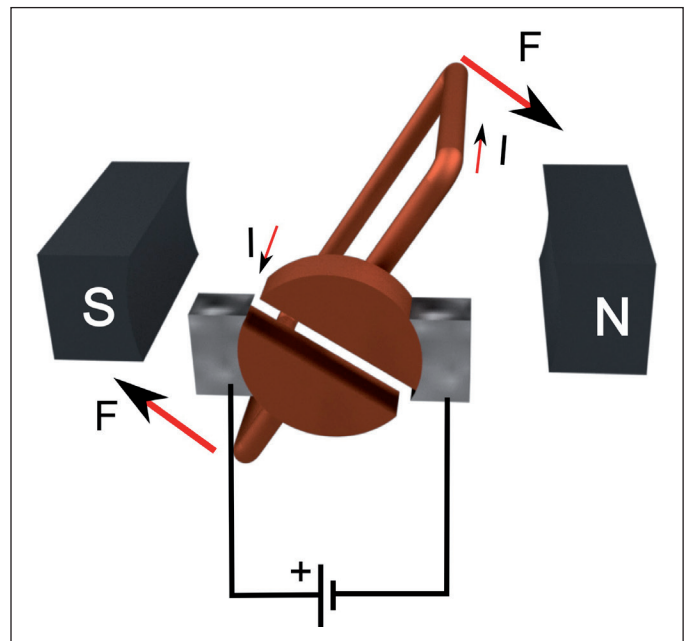
Na rotor tedy začne působit síla F na poloměru r , a to v levé části obr. 2 směrem vzhůru, v pravé části obr. 2 směrem dolů. Rotor se začne otáčet, působí krouticí moment T . Situace pro obecný úhel natočení rotoru θ je znázorněna na obr. 3. Na vzniku krouticího momentu T se podílí jenom složka síla F kolmá k rovině závitů. Krouticí moment T tedy je:

$$T = F \cdot \cos \theta \times r = B \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \theta \quad (2)$$

kde je:

r poloměr vinutí závitů,
 θ úhel natočení rotoru.

Z uvedeného plyne, že pro úhel natočení $\theta = 90^\circ$ jsou síla F a tím i krouticí moment T rovny nule. Jak je znázorněno na obr. 4, je v této poloze i nulový proud vinutím I , neboť lamely komutátoru jsou zkrátované kartáči. Nicméně i v případě úpravy geometrie lamel a kartáčů by byla síla F nulová.



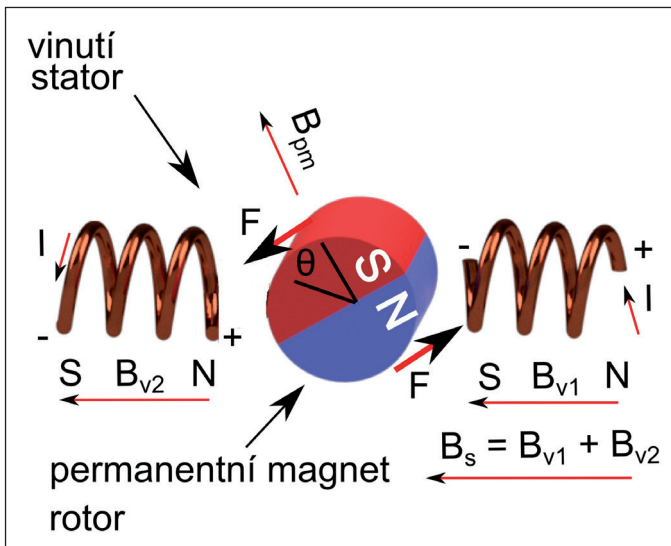
Obr. 5 Princip DC motoru, změna směru proudu ve vinutí
Fig. 5 Principle of DC motor, change of current direction in the winding

Aby byl při dalším otáčení zachován smysl krouticího momentu, je nutné nyní přepnout směr proudu ve vinutí, viz obr. 5. To zajišťuje právě komutátor, který zde působí jako mechanický přepínač. Směr proudu ze zdroje zůstává zachován. Tento okamžik se nazývá komutace.

S touto orientací proudu se rotor pohybuje dalších 180° , pak dojde opět ke změně směru proudu a cyklus se opakuje.

Pro další popis a srovnání s BLDC motory jsou důležité dva závěry:

- aby krouticí moment nebyl v určitém okamžiku nulový, resp. aby zvlnění krouticího momentu bylo co nejmenší, potřebujeme více sekcí vinutí, a tedy i více lamel komutátoru,
- potřebujeme přepínat směr proudu ve vinutí.



Obr. 6 Působení permanentního magnetu a vinutí
Fig. 6 Effect of permanent magnet and winding

Aby docházelo k přenosu proudu z kartáčů do komutátoru, je nutný mechanický kontakt. Kartáče jsou obvykle vyrobeny z uhlíku a přitlačovány ke komutátoru pružinou, tím vzniká tření, které snižuje účinnost motoru. Dochází rovněž k opotřebení kartáčů, které vede k omezení životnosti motoru a nutnosti provádět údržbu. Další nevýhodou je jiskření mezi kartáči a lamelami při komutaci – to může v některých aplikacích způsobovat problémy s elektromagnetickou kompatibilitou.

BLDC motory se proto snaží o jinou konstrukci, která uvedené nevýhody odstraňuje. Permanentní magnet je umístěn na rotoru a vinutí na statoru. Vinutí na statoru umožňuje i lepší chlazení vedením tepla. Situace je znázorněna na obr. 6, je však třeba opět zdůraznit, že se jedná pouze o principiální schéma pro vysvětlení funkce a nejsou na něm zobrazeny další důležité součásti jako např. magnetický obvod, další cívky apod., bez kterých by motor nemohl fungovat.

Obě vinutí zobrazená na obr. 6 jsou spolu zapojená do série, tj. prochází jimi stejný proud I . Ten vytváří magnetické pole v jednotlivých vinutích statoru s orientací znázorněnou vektorem magnetické indukce B_{v1} a B_{v2} (souhrnně bude dále označeno B_s). Pro jednodušší porozumění jsou v obr. 6 znázorněny i severní (N) a jižní (S) póly příslušných magnetických polí statorových vinutí. Permanentní magnet je orientován pod obecným nenulovým úhlem θ a vytváří své magnetické pole s orientací danou vektorem magnetické indukce B_{pm} .

Je možné ukázat, že síla F , tj. síla působící mezi magnetickým polem statoru a magnetickým polem rotoru závisí na úhlu natočení rotoru θ , tj. na úhlu mezi vektorem magnetické indukce rotoru B_{pm} a vektorem magnetické indukce statoru B_s . Síla F (a tedy i moment T) je maximální, pokud jsou oba vektory na sebe kolmé, tj. $\theta = 90^\circ$, a nulová, pokud $\theta = 0^\circ$. Na obr. 6 se tedy po připojení stejnosměrného proudu I do statorových vinutí rotor natočí do polohy $\theta = 0^\circ$, kde se zastaví, protože moment je v této poloze nulový. Pro jednodušost je rotor uvažován bez zatížení a tření zanedbáno.

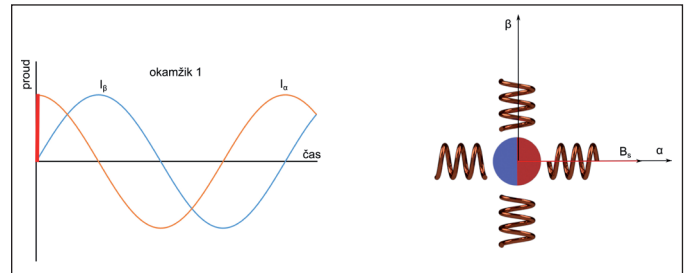
Na stator je tedy nutné přidat minimálně ještě jeden pár vinutí tak, aby vzniklo točivé magnetické pole, za kterým se bude rotorový permanentní magnet natáčet.

Vznik točivého magnetického pole je ukázán na příkladu dvoufázového motoru, tj. motoru se vzájemným posunutím vinutí na statoru o 90° . Vybrané časové okamžiky jsou rozkresleny v obr. 7 až obr. 10. Ve skutečném zapojení se proudy a poloha rotoru mění plynule.

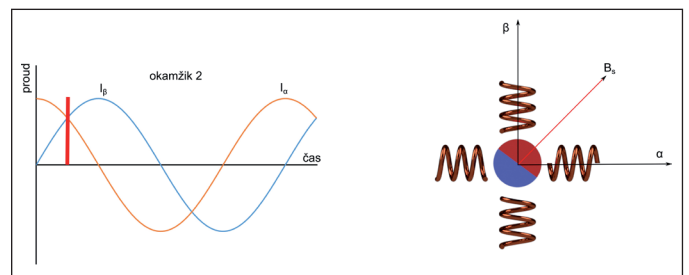
Ve všech nákresech je osa α orientovaná vodorovně a osa β orientovaná svisle. Proud I_α označuje okamžitou hodnotu proudu ve vodorovně orientovaných vinutích, proud I_β označuje okamžitou hodnotu proudu ve svisle orientovaných vinutích.

V okamžiku 1 je amplituda proudu I_α maximální, amplituda proudu I_β je nulová. Vektor magnetické indukce statoru B_s je tedy natočený ve vodorovném směru směrem vpravo. Za předpokladu nulového zátěžného momentu a nulového tření je rotor natočený do stejné polohy.

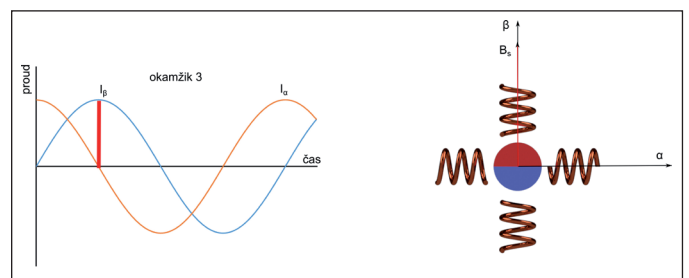
V okamžiku 2 je amplituda obou proudů stejná. Stejná je i jejich polarita. Vektor magnetické indukce statoru B_s je natočený mezi osy α a β pod úhlem 45° . Ve stejné poloze je natočený i rotor.



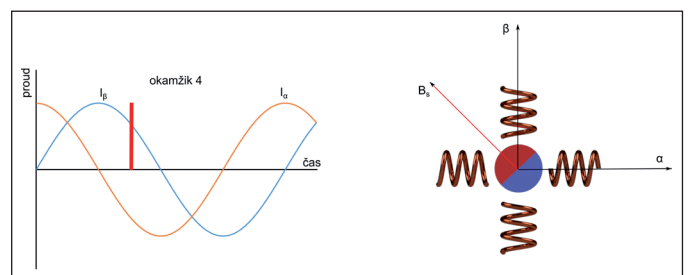
Obr. 7 Vznik točivého magnetického pole – okamžik 1
Fig. 7 Creation of a rotating magnetic field – moment 1



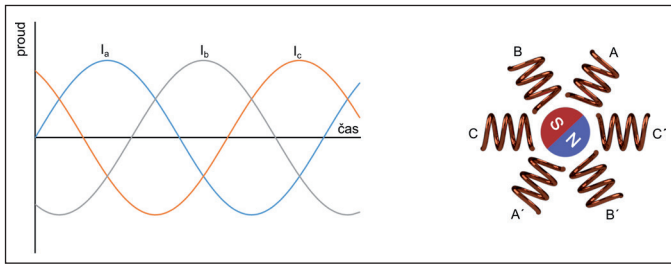
Obr. 8 Vznik točivého magnetického pole – okamžik 2
Fig. 8 Creation of a rotating magnetic field – moment 2



Obr. 9 Vznik točivého magnetického pole – okamžik 3
Fig. 9 Creation of a rotating magnetic field – moment 3



Obr. 10 Vznik točivého magnetického pole – okamžik 4
Fig. 10 Creation of a rotating magnetic field – moment 4



Obr. 11 Uspořádání třífázového BLDC motoru a průběhy proudů
 Fig. 11 Arrangement of a three-phase BLDC motor and current waveforms

V okamžiku 3 je amplituda proudu I_{α} nulová, proudu I_{β} maximální. Vektor magnetické indukce statoru B_s je natočený svisle vzhůru. Ve stejné poloze je natočený i rotor.

V okamžiku 4 mají proudy opět stejnou amplitudu, ale opačný směr. Proud I_{α} je záporný, proud I_{β} je kladný. Složením příspěvků obou proudů k celkovému vektoru magnetické indukce B_s získáme pole orientované ve směru znázorněném na obr. 10. Dále pokračuje otáčení analogicky. Vektor magnetické indukce statoru se tedy v čase otáčí s frekvencí danou frekvencí vstupního proudu a permanentní magnet rotoru pohybuje sleduje.

V tomto příkladu je použit sinusový proud. Proto je velikost krouticího momentu motoru konstantní v celém rozsahu jedné otáčky. Jak dále uvidíme, u některých typů BLDC motorů se používá nikoliv sinusový, ale lichoběžníkový (trapezový) průběh proudu. Výhodou je možnost použití podstatně jednodušší a lacinější řídicí struktury. Nevýhodou je naopak zvlnění krouticího momentu, které v některých aplikacích může způsobovat problémy.

Napájení dvoufázovým proudem, tak jak je popsáno v tomto ilustračním příkladu, se skutečně u některých typů BLDC motorů využívá. Mnohem obvyklejší je ale třífázové provedení. To totiž přináší úsporu v počtu přípojovacích vodičů (čtyři vodiče u dvoufázového, tři u třífázového) a také zjednodušení – a tím i zlevnění – nezbytné výkonové elektroniky (osm spínačů u dvoufázového, šest spínačů u třífázového provedení), která vyžaduje menší počet spínacích prvků. Další text příspěvku bude proto věnován výhradně BLDC motorům třífázovým.

Struktura třífázového BLDC motoru je zobrazena na obr. 11 včetně obvyklého označování vinutí A, A' atd. Cívky A a A' jsou zapojeny v sérii. Zobrazení je opět pouze schematické bez zobrazení magnetických ob-

vodů. Točivé magnetické pole vznikne součtem tří magnetických polí vyvozených cívkami A-A', B-B' a C-C', které jsou napájeny sinusovým proudem s fázovým posunem 120°, resp. 240°.

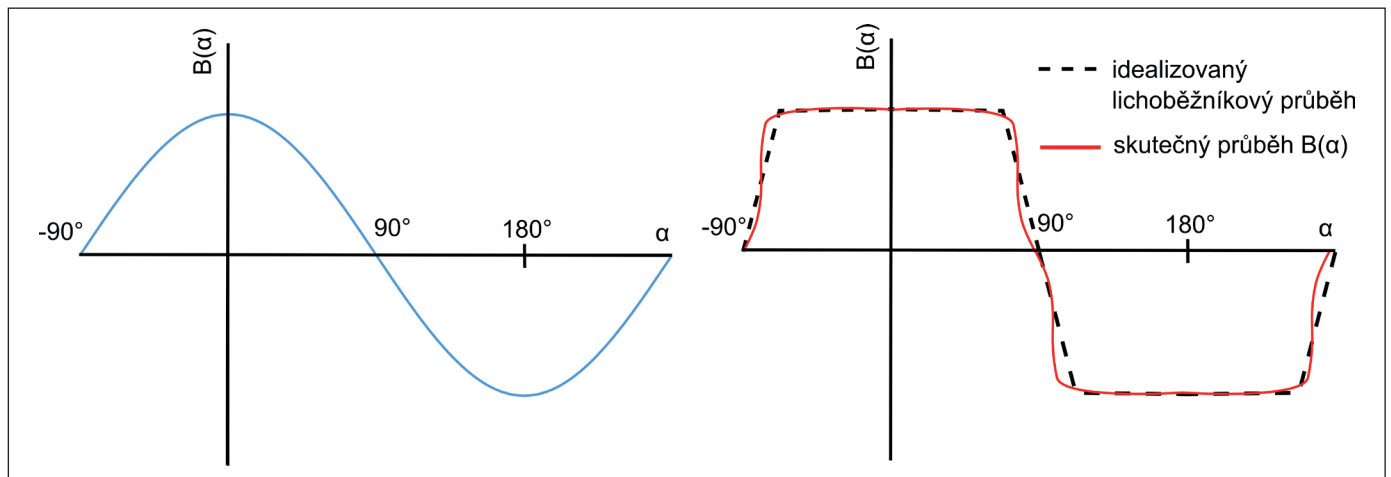
Jak plyne z předešlého popisu, konstrukce BLDC motorů i jejich řízení se podstatně liší od DC motorů. Název „bezkartáčový stejnosměrný motor“ (BLDC) je tedy značně zavádějící, ne-li přímo chybný, protože se o žádný stejnosměrný motor nejedná. Stejnosměrné napájení je použito pouze pro napájení řídicí elektroniky, která vyrábí střídavý signál. Jde tedy o střídavý, nejčastěji třífázový motor. BLDC motor se navíc neobejde bez řídicí elektroniky, která generuje správné průběhy proudů v závislosti na známé poloze rotoru. Často rozšířený název elektronicky komutovaný motor (ECM – Electronically Commutated Motor) je tak akceptovatelný.

ELEKTRONIKA PRO ŘÍZENÍ BLDC MOTORU

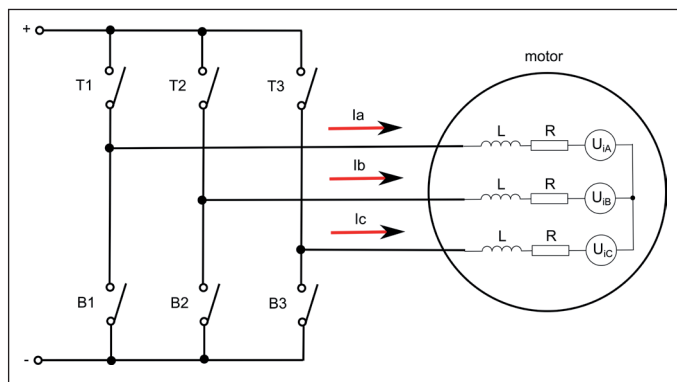
Jak vyplývá z předchozího textu, BLDC motor je vlastně synchronní motor s permanentním magnetem. Podle tvaru proudů ve vinutích a také podle tvaru indukovaného napětí (bude vysvětleno dále) musíme zvolit vhodnou řídicí elektroniku, která požadované proudy vytvoří. To bude jedním z kritérií pro různé kategorie tohoto typu motorů. Například [1] rozděluje motory podle tvaru indukovaného napětí na synchronní motory s permanentními magnety (PMSM – Permanent Magnet Synchronous Machine) pro sinusový průběh indukovaného napětí a na BLDC motory pro lichoběžníkový průběh indukovaného napětí.

Typické průběhy magnetické indukce ve vzduchové mezeře pro obě provedení jsou znázorněny na obr. 12. V levé části obrázku je znázorněn typický průběh magnetické indukce u PMSM, pravá část obrázku pak ukazuje typický tvar magnetické indukce u BLDC. Tvar magnetické indukce ve vzduchové mezeře je dán konstrukcí stroje. Pokud bychom rotorem rovnoměrně mechanicky otáčeli, ve vinutí by se indukovalo napětí. Jeho tvar by odpovídal tvaru magnetické indukce ve vzduchové mezeře. Indukované napětí vzniká při běhu stroje pohybem permanentního magnetu a působí proti napájecímu napětí. Řídicí elektronika musí generovat takové napětí, které indukované napětí překoná a protlačí vinutím proudy požadovaných tvarů.

Princip zapojení výkonové elektroniky pro řízení BLDC motoru je zobrazen na obr. 13. Struktura zapojení je stejná pro řízení s lichoběžníkovými i sinusovými proudy, liší se způsob ovládání spínačů T1 až T3 a B1 až B3. Spínače jsou realizovány výkonovými tranzistory MOSFET nebo IGBT. Na obr. 13 je nakreslen příklad motoru s vinutím zapojeným do



Obr. 12 Sinusový vs. lichoběžníkový průběh magnetické indukce ve vzduchové mezeře
 Fig. 12 Sine vs. trapezoidal wave of magnetic induction in an air gap



Obr. 13 Struktura výkonové elektroniky
Fig. 13 Structure of high-power electronics

hvězdy, možné je ale i zapojení do trojúhelníku. Indukčnost L představuje vlastní indukčnost vinutí statoru v jedné fázi, ohmický odpor R je odpor vinutí. Zdroj U_{ix} představuje indukované napětí, které vzniká při nenulové rychlosti otáčení a působí proti napájecímu napětí. Indukované napětí je úměrné otáčkám rotoru.

Pro zjednodušení si ukážeme pouze princip řízení motoru s lichoběžníkovými proudy, který je vhodný pro motory s lichoběžníkovým průběhem indukovaného napětí. Tranzistory T1 až T3 a B1 až B3 jsou postupně spínány v předem dané sekvenci stavů. Sekvence je dána tab. 1.

Průběhy proudů odpovídající této sekvenci jsou znázorněny na obr. 14. Jsou zobrazeny ideální průběhy proudů (zanedbány indukčnosti obvodu) a také skutečné průběhy proudů s vlivem indukčnosti. Ve skutečnosti dochází při přepínání k přechodovým jevům a tím i ke zvlnění kroučícího momentu. Příklad toku proudu obvodem pro stav 1 (tranzistory T3 + B2 sepnuty) je ukázán na obr. 15. Proud prochází ze zdroje vinutím C do vinutí B, kde prochází se zápornou polaritou. Odtud se přes tranzistor B2 vrací zpět do zdroje. Cívka A není v tomto stavu připojena.

Následující stav 2 je zobrazen na obr. 17. Aktivuje spínač T1, proud prochází vinutím A, vinutím B, spínačem B2 zpět do zdroje. Vinutí C není v tomto stavu připojeno.

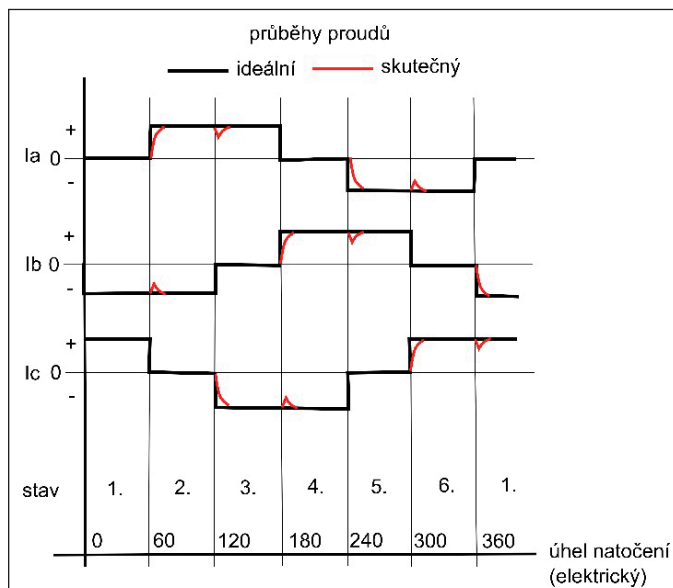
Tato metoda je jednoduchá a nevyžaduje náročný řídicí algoritmus. Jsou spínány vždy dva tranzistory v předem dané sekvenci. Rychlost spínání je dána požadovanými otáčkami motoru. Pro správnou funkčnost je nutné znát aktuální polohu rotoru, aby k přepnutí došlo vždy ve správný okamžik. Aktuální poloha je proto měřena nejčastěji třemi Hallovými snímači umístěnými po 120° – viz obr. 16. Barvou snímače je na obrázku vyznačena polarita magnetického pole, kterou snímač aktuálně měří.

U velice jednoduchých aplikací, kde se jedná pouze o řízení rychlosti, jako jsou např. ventilátory, se často používá jen jeden snímač zabudovaný přímo v řídicím obvodu.

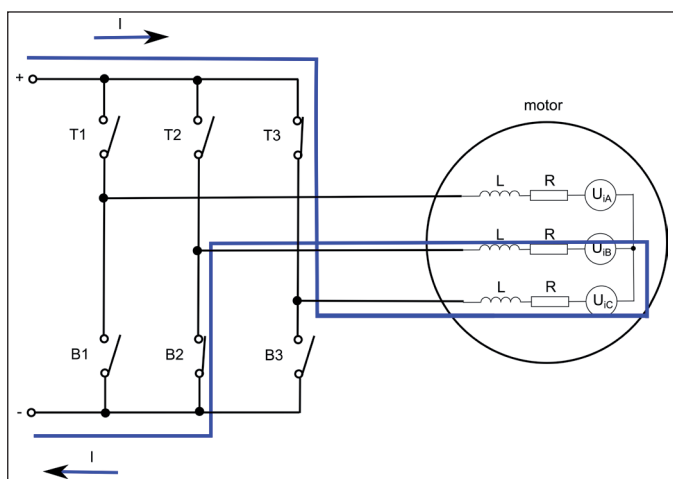
Popsaná metoda řízení je jednoduchá metoda, její nevýhodou je velké zvlnění kroučícího momentu, zejména při nízkých rychlostech, a s tím spojený málo plynulý chod motoru. Je na zvážení během návrhu aplikace, zda je toto akceptovatelné či nikoliv a zda je tedy nutné zvolit jiný způsob řízení. Srovnání průběhu kroučícího momentu v průběhu

Tab. 1 Sekvence spínání
Tab. 1 Switching sequence

Stav	1	2	3	4	5	6
Sepnuto	T3 + B2	T1 + B2	T1 + B3	T2 + B3	T2 + B1	T3 + B1



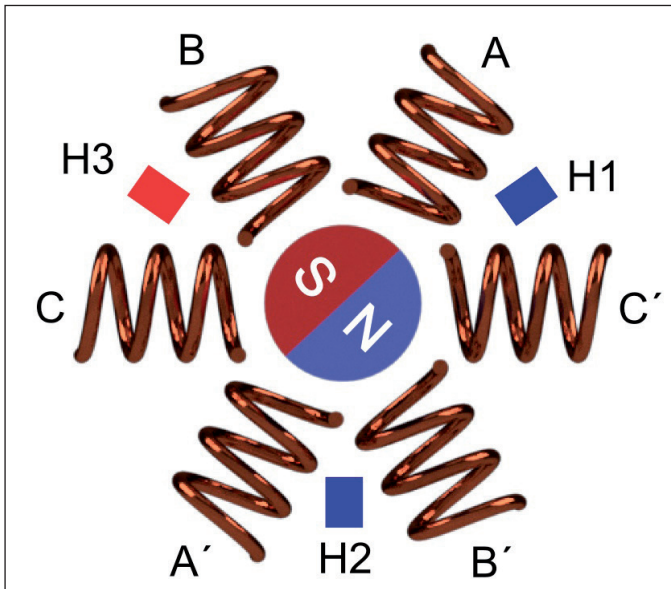
Obr. 14 Průběhy proudů
Fig. 14 Current waveforms



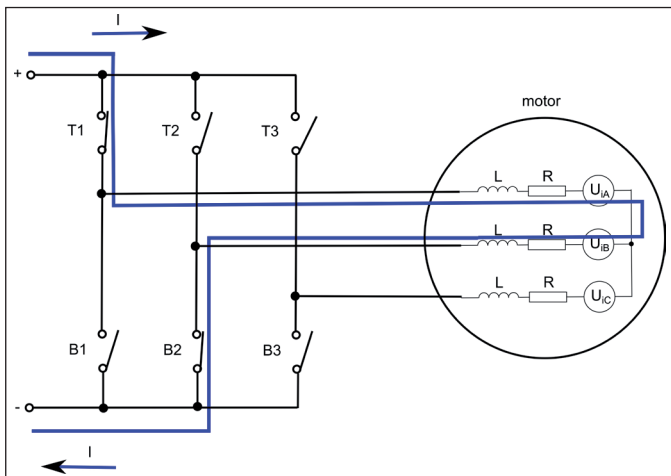
Obr. 15 Průchod proudu obvodem – stav 1
Fig. 15 Flow of current through circuit – state 1

jedné otáčky je znázorněno na obr. 18. V důsledku poklesu proudů při přepínání stavů je u lichoběžníkových proudů patrný pokles kroučícího momentu v okamžiku přepínání stavu. Pokud má motor sinusové indukované napětí, ale je řízen lichoběžníkovými proudy, je tvar zvlnění kroučícího momentu jiný. Dochází také k poklesu, dokonce typicky většímu, ale není obsaženo tolik vyšších harmonických složek. To může mít pozitivní vliv na akustické projevy motoru. Pro motor se sinusovým indukovaným napětím a sinusovými proudy je zvlnění kroučícího momentu nulové. Proto je důležité podle typu motoru zvolit vhodný způsob napájení (typ proudů). Jinak řečeno: pokud má motor obdélníkové indukované napětí, je vhodné ho řídit obdélníkovými proudy, pokud má sinusové indukované napětí, je vhodné používat sinusové proudy. Jiné kombinace jsou možné, ale mohou negativně ovlivňovat průběh kroučícího momentu a akustiku motoru.

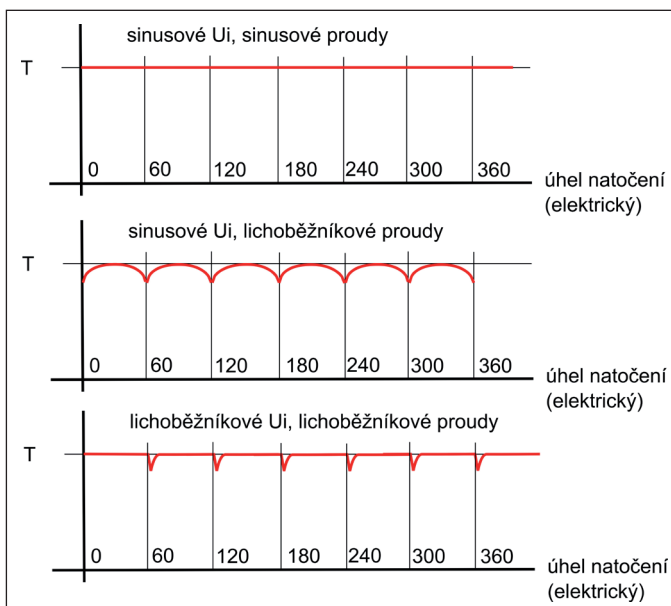
Jak je patrné z průběhů proudů, je každé vinutí vždy po 120° napájené, pak 60° odpojené, dalších 120° napájené proudem opačné polarity a posledních 60° opět odpojené. V okamžiku, kdy je příslušné napětí odpojené od napájení, lze na něm měřit indukované napětí a tím eliminovat snímač polohy. Vhodným zpracováním změřeného napětí lze provozovat tzv. bezsenzorové řízení, které nevyžaduje snímač polohy.



Obr. 16 Umístění Hallových snímačů
Fig. 16 Location of Hall sensors



Obr. 17 Průchod proudu obvodem – stav 2
Fig. 17 Flow of current through circuit – state 2



Obr. 18 Průběhy momentů při různém způsobu řízení
Fig. 18 Torque waveforms for different ways of control

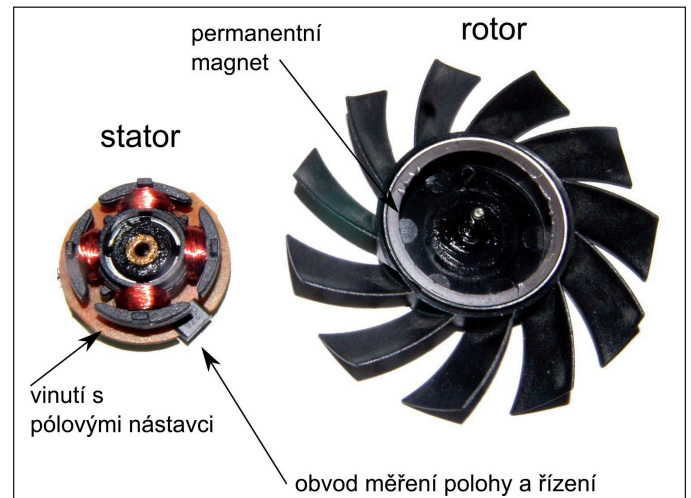
TYPICKÉ APLIKACE BLDC MOTORŮ

Typickou aplikací BLDC motorů jsou pohony ventilátorů. Zde je důležitá především dlouhá životnost motoru, omezená zejména životností ložiska, bezúdržbový provoz a vyšší účinnost (absence kartáčů) ve srovnání s DC motory. BLDC motor ukázaný na obr. 19 je dvoufázový, řídicí odvod v sobě integruje jednak potřebnou výkonovou elektroniku, ale i snímače polohy. Permanentní magnet na rotoru je čtyřpólový.

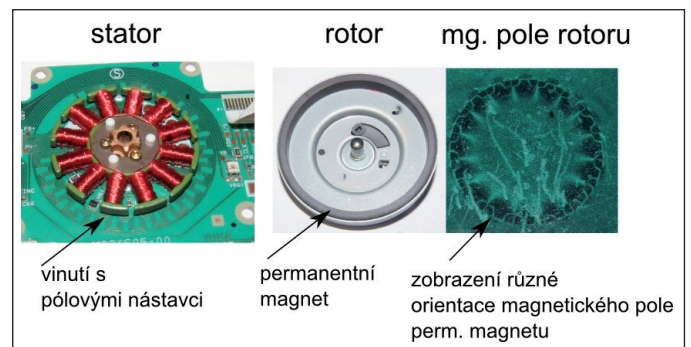
Další typickou aplikací BLDC motorů je pohon zařízení s malým výkonem, jako je např. disketová mechanika. Na obr. 20 je ukázán stator a rotor pohonu. Stator je integrovaný na desce plošných spojů, je patrné vinutí s pólovými nástavci. Rotor s permanentním magnetem má v tomto případě 34 pólů. Magnetické pole je znázorněné pomocí magnetického papíru v pravé části obrázku. Změny orientace magnetického pole jsou vidět jako světlé křivky po obvodu permanentního magnetu.

TYPICKÉ VLASTNOSTI BLDC MOTORŮ

Pro ukázání typických vlastností BLDC motorů byly vybrány příklady motorů a jejich charakteristik od výkonů desítek W až po desítky kW. Projevuje se zde typický jev elektrických pohonů. Malé motory mají malou účinnost, velké motory mají účinnost mnohem větší. Největší účinnost motoru na obr. 21 je při momentu cca 0,028 Nm, výkon cca 16 W. Účinnost v tomto bodě je cca 0,73. Při rostoucím výkonu účinnost klesá. To je další typický jev, maximální účinnost nebývá u malých motorů při maximálním výkonu.



Obr. 19 Ventilátor poháněný BLDC motorem
Fig. 19 Fan driven by BLDC motor



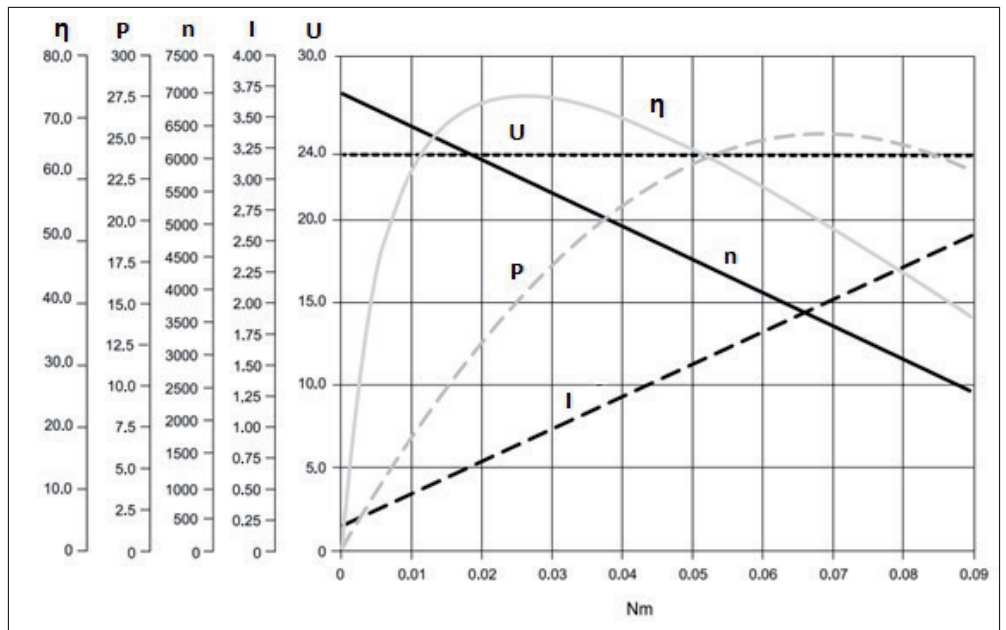
Obr. 20 Pohon disketové mechaniky
Fig. 20 Actuator of floppy drive

ZÁVĚR

Článek shrnuje některé základní vlastnosti BLDC motorů. S ohledem na jejich vyšší účinnost (v porovnání s klasickými DC motory) a potřebu menší údržby díky absenci komutátoru se prosazují zejména v aplikacích, které vyžadují trvalý nebo dlouhodobý chod. Typickým příkladem jsou např. pohony ventilátorů. Na druhou stranu BLDC motory nezbytně vyžadují pro svůj chod řídicí a výkonovou elektroniku, která je často zabudovaná přímo v pohonu. Podle požadavků aplikace je pak nutné správně volit mezi motory se sinusovým a lichoběžníkovým průběhem magnetické indukce a podle toho vybrat vhodný způsob řízení. V tomto článku je popsán pouze jednodušší způsob řízení s lichoběžníkovými proudy, který se typicky používá pro nenáročné aplikace. Řízení sinusových proudů v náročnějších aplikacích vyžaduje podstatně výkonnější (a dražší) řídicí elektroniku. Používá se tedy pouze např. u elektrických pohonů vozidel, kde by bylo zvlnění krouticího momentu na závalu.

Kontakt na autora: Martin.Novak@fs.cvut.cz

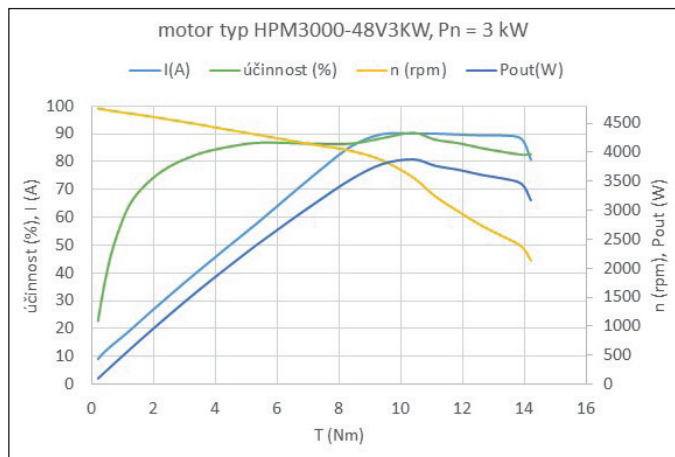
Poděkování: Tento článek vznikl částečně za podpory grantu TAČR TE01020020 – Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka a grantu ČVUT SGS15/190/OHK2/3T/12.



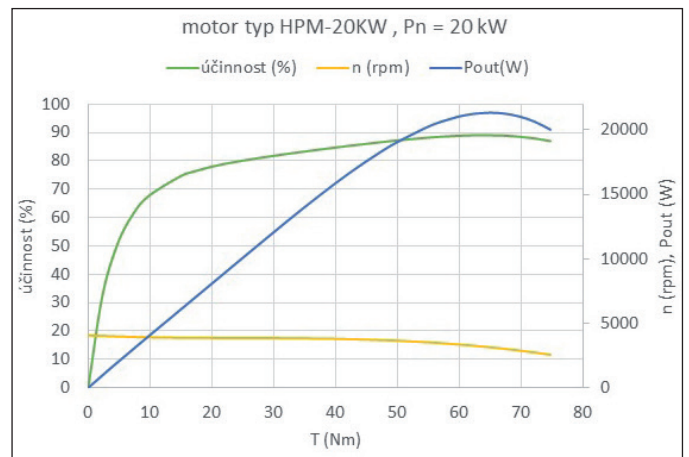
Obr. 21 Charakteristiky malého BLDC motoru, typ BL002.240, $P_n = 19,8 \text{ W}$, převzato z [9]
 Fig. 21 Characteristics of small BLDC motor type BL002.240, $P_n = 19.8 \text{ W}$, taken from [9]

Použití zdroje:

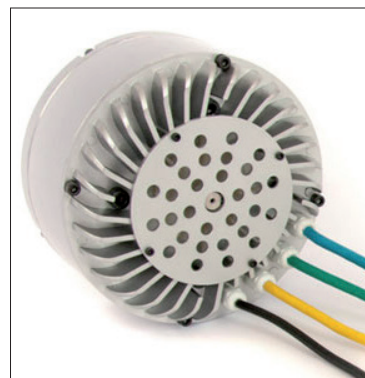
- [1] KRISHNAN, R. *Permanent magnet synchronous and brushless DC motor drives*. Boca Raton: CRC, 2010, xxxv, 575 s. ISBN 978-0-8247-5384-9.
- [2] AKIN, B., BHARDWAJ, M. Sensorless Trapezoidal Control of BLDC Motors. In: *ti.com* [online]. 21. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/sprabq7a/sprabq7a.pdf>
- [3] LEE, S., LEMLEY, T. A comparison study of the commutation methods for the



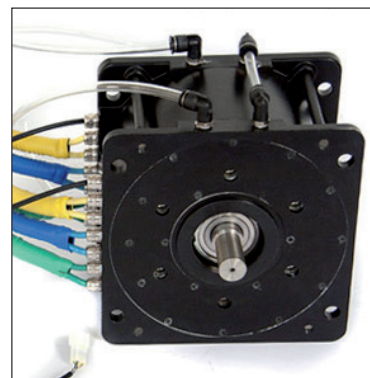
Obr. 22 Charakteristiky BLDC motoru, $P_n = 3 \text{ kW}$, zpracováno podle [10]
 Fig. 22 Characteristics of BLDC motor, $P_n = 3 \text{ kW}$, elaborated according to [10]



Obr. 24 Charakteristiky BLDC motoru, $P_n = 20 \text{ kW}$, zpracováno podle [12]
 Fig. 24 Characteristics of BLDC motor, $P_n = 20 \text{ kW}$, elaborated according to [12]



Obr. 23 BLDC motor typ HPM3000-48V3KW, $P_n = 3 \text{ kW}$, převzato z [11]
 Fig. 23 BLDC motor type HPM3000-48V3KW, $P_n = 3 \text{ kW}$, taken from [11]



Obr. 25 BLDC motor typ HPM-20KW, $P_n = 20 \text{ kW}$, vodní chlazení, převzato z [10]
 Fig. 25 BLDC motor type HPM-20KW, $P_n = 20 \text{ kW}$, water cooling, taken from [10]

- three-phase permanent magnet brushless DC motor [online]. 19. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/EP2/BLDC.pdf>
- [4] PADMARAJA, Y. Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Microchip Technology Inc., application note AN885. In: *Microchip* [online]. 1. 2. 2016. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>
- [5] TITUS, J. Careful designers get the most from brushless DC motors. In: *Ecnmag* [online]. 19. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.ecnmag.com/article/2012/08/careful-designers-get-most-brushless-dc-motors>
- [6] TITUS, J. Brushless DC Motors Roll On. In: *Ecnmag* [online]. 19. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.ecnmag.com/article/2009/09/brushless-dc-motors-roll>
- [7] Explanation for Differing Stator Winding Orientations. In: *Stackexchange.com* [online]. 19. 2. 2016. Dostupné z: <https://electronics.stackexchange.com/questions/45314/explanation-for-differing-stator-winding-orientations>
- [8] Driving of a 3-phase BLDC Motor by 120-Degree Trapezoidal Wave. *Commutation using HALL Sensors*. In: *Renesas.com* [online]. 19. 2. 2016. Dostupné z: http://documentation.renesas.com/doc/products/mpumcu/apn/reu05b0074_r8cap.pdf
- [9] Bezkartáčové BLDC motory s převodovkami – kompletní katalog 2014 (EN). In: *Raveo.cz* [online]. 19. 2. 2016. Dostupné z: http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2015/02/Intecno_BLDC_Motory_a_Prevodovky_Produktovy_Katalog_2014_EN.pdf
- [10] Golden motor, HPM3000 (3KW) Motor Performance Data (48V). In: *Goldenmotor.com* [online]. 21. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.goldenmotor.com/hubmotors/hubmotor-imgs/HPM3000-48V3KW%20Data.pdf48V-3KW%20Data.pdf>
- [11] Golden motor, 3KW BLDC Motor. In: *Goldenmotor.com* [online]. 21. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.goldenmotor.com/>
- [12] Golden motor, HPM-20KW – High Power BLDC Motor. In: *Goldenmotor.com* [online]. 21. 2. 2016. Dostupné z: <http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM-20KW-Performance%20Data.pdf>

Měď z klimatizací se krade i v USA

Stát Ohio odsoudil S. W. Harrola (48) z Glenfordu k 54 měsícům vězení a pokutě 29 045 USD za krádež měděného potrubí z klimatizace a jeho prodej do šrotu. Následkem krádeže docházelo k úniku chladiva do ovzduší a tím poškozování ozónové vrstvy podle zákona US Clean Air Act. Navíc, když byl policií přistižen, pokusil se uniknout jízdou rychlostí 145 km/h. Informace neuvádí, o kolik mědi a o jak velký únik chladiva se jedná. Jde v krátké době již o několikátou krádež tohoto druhu v Ohio.

Pramen: CCI 10/2016, s. 4 (AB)

Energetická inspekce v Německu se musí registrovat

Podle návrhu směrnice GEFMA 124 německé asociace German Facility Management Association (GEFMA) se musí každá osoba provádějící energetickou inspekci chladicích a klimatizačních zařízení registrovat u německého ústavu pro stavební techniku DIBt v Berlíně. Smyslem tohoto ustanovení je získat přehled o kontrolních osobách a zároveň je podrobit školení o tom, co výkon této činnosti na osoby klade, včetně seznámení s novinkami v oboru. Asociace GEFMA zastupuje v Německu 900 podniků a organizací z oboru facility management.

Pramen: CCI 03/2016, s. 25 (AB)

Dům bez plynové a elektrické přípojky

Švýcarská realitní kancelář W. Schmid AG, Glattbrugg, uskutečnila v Bruttenu svůj projekt energeticky soběstačného solárního domu Umwelt Arena pro více rodin. Pro velký zájem byli nájemci vybíráni v soutěži. Jediným zdrojem energie jsou solární články na střeše a na pláštích budovy, které byly vyvinuty speciálně pro tento projekt. Letní přebytek energie se ukládá v bateriích a v nádrži vyrobeného vodíku, který se užívá k vytápění, přípravě TV a chlazení. Blíže informace nejsou k dispozici.

Pramen: CCI 08/2016, s. 4 (AB)



Společnost pro
techniku prostředí

Nabídka publikací vydaných Společností pro techniku prostředí

Název publikace	Rok vydání
Příprava teplé vody	2017
Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy	2016
Kontrola klimatizačních systémů, kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie - metodické pokyny 2014	2014
Bezkontaktní způsoby měření teploty	2014
Solární tepelné soustavy	2009
Názvoslovný výkladový slovník z oboru Technika prostředí Č-A-N, A-Č-N, N-Č-A	2008
Vzduchotechnické systémy pro čisté prostory operačních sálů	2008
Otopné soustavy teplovodní	2008
Regulace ve vytápění	2007
Průmyslové otopné soustavy	2005
Měření tepla, indikace a rozdělování úhrady za vytápění a ohřev TUV	2003
Větrání kuchyní	2000
Vodní pára ve vytápění	2000
Výkresová dokumentace ve vytápění	1999

Více informací o publikacích: <http://www.stpcr.cz/cz/publikace>

Objednávky publikací na dobírku, na fakturu (nad 200 Kč) vyřizuje:

Univerzitní knihkupectví odborné literatury

Technická 6, 160 00 Praha 6 – Dejvice

telefon: 224 355 003, fax: 233 332 642

e-mail: Vera.Mikulkova@ctn.cvut.cz