

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛИ С МАЛКА МОЩНОСТ - ТЕНДЕНЦИИ И СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

Димитрина Коева
Технически университет - Габрово

LOW POWER ELECTRIC MOTORS - DIRECTIONS OF DEVELOPMENT AND COMPARATIVE ANALYSIS

Dimitrina Koeva
Technical University of Gabrovo

Abstract

The objective of this work is to use conventional design methodologies for low power collector and brushless motors in order to obtain relations and present comparative data for overall dimensions and performance, electromechanical quantities and parameters. Their comparison would show the qualities of the motors (total losses, developed torque, power, etc., per unit mass of active parts) and could be used as a guide when selecting a motor for a particular application according to various criteria. The object of the analysis is the data of low power motors which is as follows: single-phase collector motors, universal collector motors, induction motors and permanent magnet brushless motors.

Keywords: motors, electrical products, Ecodesign.

ВЪВЕДЕНИЕ

Един от основните отрасли на индустрията на развитото общество винаги е била и ще си остане електротехническата промишленост и нейните основни съставящи – електромеханика и преобразователна техника, т.к. огромна част от цялата произвеждана електрическа енергия в крайна сметка се преобразува в механична посредством различни видове изпълнителни електродвигатели. По такъв начин електромеханиката и управляващата я електроника са в основата на промишлеността. И за в бъдеще все по-актуални ще са проблемите за енергоспестяващите мерки и минимизиране на загубите на енергия. В контекста на казаното към електродвигателите и управляващата ги електроника като перспективна електромеханична система се поставят следните изисквания: висока производителна мощност, повишена честота на въртене, пълна управляемост, висок коефициент на полезно действие, ниска цена и дълъг срок на

безотказна работа. За успешното реализиране на тези разнородни критерии за качество е необходим, разбира се, комплексен подход, като все още за всеки конкретен случай се прави компромисът цена/качество.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Високоскоростните електрически машини с електронно управление намират приложение в редица устройства, където обемът и теглото са от съществено значение като ръчни електроинструменти, прахосмукачки, медицински инструменти /стоматологични и хирургически/ и др. Развитието на силовата електроника позволи използването на безконтактни електрически машини с електронно управление (БЕМЕУ), в т.ч. асинхронни, синхронни, безконтактни постояннотокови с постоянни магнити (БДПМ), които имат редица предимства пред универсалните колекторни и постояннотокови двигатели, използвани доскоро масово.

Наличието на механичен комутатор в конструкцията на последните ограничава областта на тяхното приложение. С бурното развитие на полупроводниковата техника се създава възможността механичният комутатор да се замени с много по-надежден – полупроводникова схема, управлявана от сигналите на безконтактен датчик за положението на ротора. Тези електродвигатели се срещат под името безконтактни, вентилни или двигатели с електронна комутация, т.е. функциите на комутатора се изпълняват от електронна полупроводникова схема, [1].

Съществуват технологични, технически и пазарни различия между малките и големите електрозадвижвания (ЕЗ). За големите ЕЗ се предпочитат класическите постоянно-токови двигатели (ПТД), асинхронни двигатели (АД) и синхронни машини (СМ), поради високата им работоспособност, умело използване на вложените материали (оптимално проектиране на двигателите) и необходимост от плавно изменение на въртящия момент, без пулсации. При малките ЕЗ разнообразието е голямо поради необходимостта от различен диапазон на регулиране и други изисквания към изменението на различни величини. Коефициентът на полезно действие и оптималното използване на материали все още е много важен въпрос, както и управлението на момента, динамичните натоварвания и диапазона на регулиране. Не на последно място значение има и управляващата схема и вложените елементи в нея. За малките мощности се препоръчват MOSFET и IGBT като елементна база, заради малките загуби при сравнително високи честоти на превключване, което ги прави предпочитани за широчинно-импулсни модулиращи схеми. Като главни изисквания за малките ЕЗ се определят: ниска цена, безшумна работа, добър коефициент на полезно действие, компактност. В голяма част от случаите тези изисквания са взаимно противоречащи си. С разпространението на нови идеи за конструкциите, нови материали и компоненти, все по-труден става въпросът кой е най-подходящият двигател за конкретно приложение.

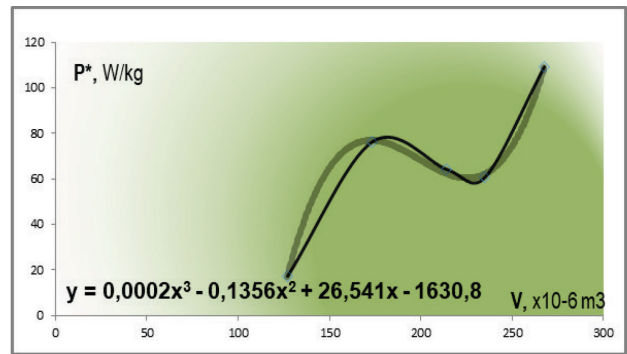
Еднофазните колекторни и универсалните колекторни двигатели все още намират приложение в промишлеността и битовата техника, където се изискват високи честоти на въртене – $3000-30000 \text{ min}^{-1}$. Това са ръчни електроинструменти, шевни машини, прохосмукачки, центрофуги и др. Тези типове двигатели се предпочитат заради възможността за получаване на практически всякакви честоти на въртене при захранване на двигателя с променливо напрежение и променлива честота, при това регулирането е плавно и технически просто осъществено. Но утежнената и неудовлетворителна комутация, която имат е голям недостатък. Освен това, вследствие на тази лоша комутация тези двигатели са източник на радиосмущения. Работата им е съпроводена с голям шум, който може да има механичен, вентилационен или магнитен характер. В контекст на изискванията на Европейските директиви за електромагнитна съвместимост, тези двигатели все по-рядко се предпочитат, атрактивна остава единствено цената им, и постепенно отстъпват място на БДПМ, които стават все по-популярни и достъпни. Но какви са особеностите на отделните видове конструкции и защо е необходим сравнителен анализ на различните видове електродвигатели, влизащи в състава на високоскоростните задвижвания? Правилният отговор на този въпрос се крие в подходящия избор сред многообразието от нови идеи, съвременни материали и технологии на най-подходящия двигател за всеки конкретен случай. От голяма важност за електроинструментите например, е тяхната висока маневреност, подвижност, ефективност, и надеждност в експлоатацията. Особеното в тези устройства се състои в това, че двигателят непосредствено е съединен с работния инструмент и в процеса на работа се намира в ръката на работещия. Основно предимство на такива високоскоростни механизми се явява високото качество на обработка, позволяващо да се разшири значително кръгът на изпълняваните операции, малки усилия, изразходвани в хода на работата и висока производителност на труда. Друго предимство е високата относителна мощност /мощността на

механизма, отнесена към неговата маса и обем/, [6, 7].

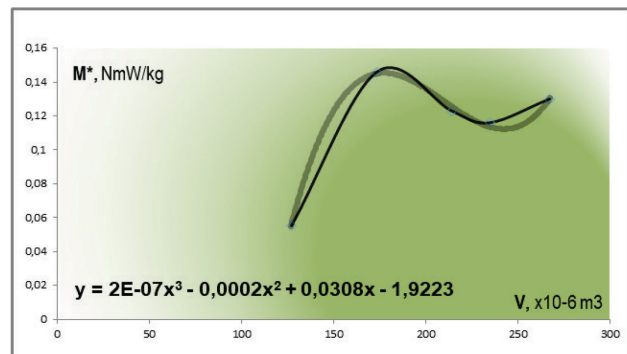
От произвежданите в света ръчни механизирани инструменти (електрически, пневматични, хидравлични и с двигатели с вътрешно горене) с електрическо задвижване са около 65% поради по-малките експлоатационни разходи и по-големия им коефициент на полезно действие (к.п.д.). В тази връзка към високоскоростните двигатели с електронно управление, влизащи в състава на електроинструментите, следва да се предявят следните специфични условия:

- малки габарити и маса – за удобство и лекота при работа;
- сравнително ниска /под 45°C/ температура на корпуса, за да не се предизвикват изгаряния;
- минимални жirosкопични моменти – за повишаване на маневреността на инструмента и за удобство и точност при работа;
- широк диапазон на честотата на въртене и въртящия момент на вала на двигателя, обуславящ разнообразието на изпълняваните операции. На практика тези двигатели работят както с моменти, близки до пусковия, така и с честоти на въртене, близки до тези на празен ход. Това затруднява осигуряването на висок к.п.д. за всички режими на работа и налага необходимостта от създаване на ефективна система на охлаждане на двигателя;
- стабилизация на честотата на въртене – за поддържане на зададения режим на работа;
- повишена електро безопасност, особено за хирургическите и стоматологични инструменти. Един от начините за постигане на това е намаляване на захранващото напрежение на 12 – 24 V.

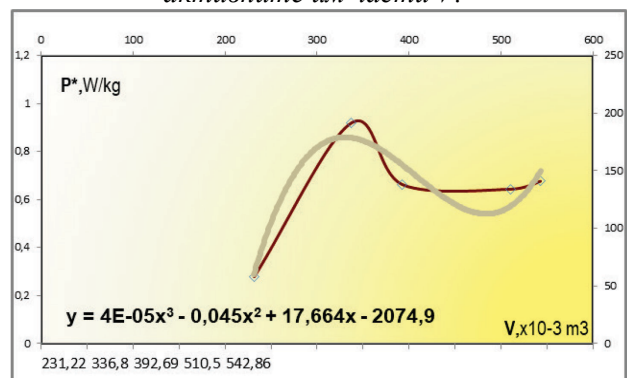
Възможно е да се обобщят важни сравнителни масогабаритни показатели: мощност за единица маса на активните части, (т.нар. специфична мощност), момент за единица маса на активните части, (т.нар. специфичен момент), обем на активните части, [2]. Обобщаването по тези показатели е направено за колекторни двигатели и безконтактни двигатели поотделно и е представено в таблици 1 и 2, [3, 4, 5].



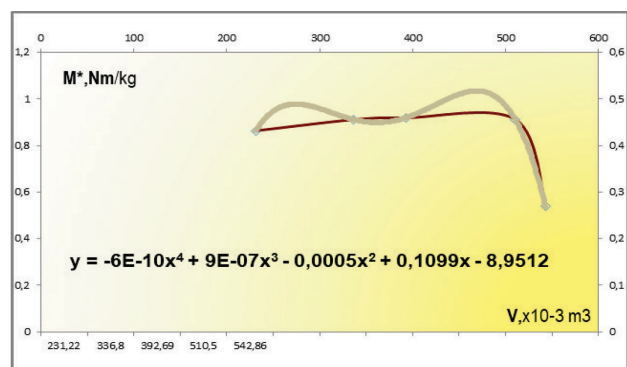
Фиг. 1. Зависимост на специфичната мощност P^* на колекторни двигатели от обема на активните им части V .



Фиг. 2. Зависимост на специфичния момент M^* на колекторни двигатели от обема на активните им части V .



Фиг. 3. Зависимост на специфичната мощност P^* на безконтактни двигатели от обема на активните им части V .



Фиг. 4. Зависимост на специфичния момент M^* на безконтактни двигатели от обема на активните им части V .

Във вид на функция $y = f(x)$ в полетата на графиките са отразени зависимостите $P^* = f(V)$ и $M^* = f(V)$ при разглежданите двигатели. Величините C (машинна константа) и k_n (коэффициент на използване) характеризират степента на използване на вложените активни материали в двигателите. Величината C определя обема на активните материали за единица енергия. Величината k_n определя плътността на енергията, т.е. енергията за единица обем. Колкото е по-малка C , толкова са по-малки размерите на статора/котвата и коэффициентът на използване е по-висок. Колкото са по-големи електромагнитните натоварвания A и B_δ , толкова се повишава k_n и размерите на двигателите намаляват. Големината на A и B_δ се съобразяват с класа на изолация, а отношението A/B_δ трябва да бъде в определени граници, т.к. неговата стойност влияе върху технико-икономическите показатели на променливотоковите двигатели – к.п.д., $\cos\varphi$, пускови характеристики и маса, а при колекторните двигатели – к.п.д., регулировъчните свойства, комутационните показатели и масата на двигателите. Отношението $\lambda = \frac{l_\delta}{D}$ влияе на масата, динамичния инерционен момент, енергийните показатели и други технико-икономически показатели на машините. При разглежданите колекторни двигатели с малка мощност $\lambda = 0,8 \div 1,1$, като ниските стойности се отнасят за оптимално проектирани двигатели. При разглежданите безконтактни двигатели $\lambda = 0,62 \div 1,2$, като ниските стойности се отнасят за БДПМ, а по-високите – за АД. Ако критерият за избор е един и същ обем на вложените активни материали, ($V = 225 \cdot 10^{-6} m^3$), колекторните двигатели имат специфична мощност $P^* = 58,3W/kg$ и специфичен момент $M^* = 0,118Nm/kg$, а безконтактните двигатели – $P^* = 70,83W/kg$ и $M^* = 0,48Nm/kg$. Следователно, безконтактните двигатели имат 1,22 пъти по-голяма специфична мощност и 4,07 пъти по-голям специфичен момент. При това електромагнитните натоварвания са както следва: за колекторните двигатели $A = (9,09 \div 10) \cdot 10^3 A/m$ и $B_\delta = (0,4 \div 0,45) T$, а за безконтактните

двигатели $A = (15,5 \div 17,03) \cdot 10^3 A/m$ и $B_\delta = (0,67 \div 0,69) T$. По-високите стойности (средно 1,7 пъти) на електромагнитните натоварвания обясняват и високия коэффициент на използване на безконтактните двигатели – 2,57÷2,96 пъти по-голям от този на колекторните двигатели. При разглежданите двигатели тези резултати се постигат при използване на известните методики за проектиране, но въведени в конструкциите нови материали. Използваните до скоро марки електротехническа стомана на ламелите Э – 13 и 2013 или подобни са заменени с нови: марка POWER Core A, M330 и/или NEMA 23. За постоянните магнити на безконтактните двигатели се използва NdFeB сплав (търговска марка Ugimax-Ugistab 37B1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изведените зависимости и извършените сравнителни анализи потвърждават, че съвременните насоки за оптимизиране габаритните размери и енергийни показатели на двигателите с малка мощност са: използване на съвременни марки електротехнически стомани – студеновалцованите стомани имат голяма магнитна проницаемост и малки специфични загуби; използване на съвременни изолационни материали – корпусната изолация и тази на намотъчните проводници да бъде с по-малка дебелина и да осигурява необходимата електрическа и механична якост (с това се постига по-добър коэффициент на запълване на медта и съответно по-добър коэффициент на използване на двигателя); използване на критерии за оптимално проектиране при осигуряване на минимална маса и висока надеждност при работа. За безконтактните двигатели с малка мощност добрите практики и методи за управление (изпреварваща комутация и контрол върху ширината на импулса) трябва да се комбинират с оптимално проектиране на двигателя за постигане на малка индуктивност на намотката, [8]. Така биха се постигнали малки пулсации на момента, бързодействие и добри енергийни показатели. Това важи особено при двигателите с високи честоти и авъртене. Колкото по-висока е управляваната скорост, толкова по-голям е оптималният ъгъл на

комутация и по-малка е оптималната ширина на импулса. И в двата случая индуктив-

ността на статорната намотка ще лимитира оптималната работа на двигателя.

Таблица 1. Обобщени показатели за разглежданите колекторни двигатели.

Номинална мощност, P_n, W	12 (УКД)	80 (УКД [*])	80 (УКД)	80 (ЕКД)	160 (ЕКД)
Общи загуби, $\sum P_{заг}, W$	4	17,3	25	27	43
Специфична мощност, $P^*, W/kg$	17,26	76,3	64,2	60,6	109,1
Специфичен момент, $M^*, Nm/kg$	0,055	0,146	0,123	0,116	0,130
Обем на активните части $V, \times 10^{-6} m^3$	126,92	173,41	214,0	234,94	267,5

Забележка: Двигателят, отбелязан с този символ (*) е оптимално проектиран.

Таблица 2. Обобщени показатели за разглежданите безконтактни двигатели.

Номинална мощност, P_n, W	90 (АД)	300 (БДПМ)	400 (АД)	400 (БДПМ)	500 (АД)
Общи загуби, $\sum P_{заг}, W$	30	-	210	45	256
Специфична мощност, $P^*, W/kg$	57,84	191,63	138	141	134,1
Специфичен момент, $M^*, Nm/kg$	0,432	0,456	0,46	0,269	0,454
Обем на активните части $V, \times 10^{-6} m^3$	231,22	336,8	392,69	542,86	510,5

REFERENCE

[1] Hendershot J. R., AC, Brushless, Switched Reluctance Motor Comparisons, Magna Physics Corporation, Hillsboro, OH 45133.
 [2] Kopilov I. P., Design of Electrical Machines, vol. 1, vol. 2, Moscow, Ener-goatomizdat, 1993 (in Russian).
 [3] Baldor Motor and Drives, Catalog, 2000.
 [4] PAPST DC Motion, 2001.
 [5] MAXON der führende Hersteller hochpräziser Antriebe und Systeme, 2001.

[6] Sharma Virendra Kumar, Khan M. A., Singh Bhim, Murthy S., Comparison of Power Quality Aspects of Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor, TENCON 2000, Proceeding, Vol. 3, pp: 300 - 303.
 [7] Fussell, B. K., Taft, C. K., Brushless DC Motor Selection, Proceedings of Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference, 18 – 21 Sept. 1995, pp: 345 – 353.
 [8] Fujii Yoshito, Nidec Corporation. US Patent № US 7294944 B2, Nov. 13/2007.