

Bezkomutátorové elektromotory

V tomto příspěvku se pokusím **zjednodušeně** vysvětlit alespoň základní problematiku bezkomutátorových motorků pro pohon leteckých modelů. Motorků píšu umyslně – jde opravdu // z profesionálního hlediska // o malé motorky vyráběné či kopírované v množstvích pro **velké profesionální výrobce** naprosto nezajímavých.

Proto je také nepřehledný **způsob deklarace parametrů**, ačkoli tento obor má už velmi dlouhou dobu **přesné a normované specifikace** způsobů testování a měření. Není se čemu divit - většina výrobců jsou podnikatelé kteří chtějí vydělat a jejich konstruktéři jsou většinou nadšenci bez odborného vzdělání // což v žádném případě neznamená že jejich motory jsou špatné //.

Důsledkem toho je neskutečná různorodost uváděných parametrů a naprostá nesrozumitelnost pro laickou veřejnost.

Důvody jsou zřejmé – pro komerční využití je výhodné zmást kupujícího nějakým nápadným **číslem**, které potencionálního kupce dovede k dojmu že právě tento výrobek je lepší.

1.1

Historie

Řešení motoru s velkým setrvačným momentem je poměrně starou záležitostí. Toto mechanické provedení bylo a je dosud hojně využíváno hlavně u velkých generátorů ,kde poskytuje při stejné hmotnosti podstatně větší stabilitu otáček. Pro pohonnou jednotku // tak jak ji známe // je vlastně velký gyromoment nevýhoda. Již v třicátých letech takovýto motor patentoval v Německu pan **PAPST** pro použití v prvních magnetofonech.

Ještě v letech šedesátých byl tento motor hojně využíván např. v magnetofonech a gramofonech firmy Grundig.

Nejvíce se tento systém uplatňuje ve videomagnetofonech a CD přehrávačích a ve výrobním programu většiny firem vyrábějících integrované obvody jsou už desítky let zařazeny speciální i katalogové komponenty pro tyto motory.

Bohužel jsou odladěny pro velmi malé výkony // z našeho – modelářského hlediska //. Dalším málo známým využitím tohoto principu je hojně používání v malých míchadlech pro laboratoře – stator s cívkami ve tvaru podložky otáčel zaskleným dvoj-či xx polovým magnetem v kádince s roztokem .

Mě osobně se podařilo // před cca 25 lety // v jednom nejmenovaném výzkumném ústavu tímto způsobem vyřešit míchání velmi agresivního roztoku o teplotě 430 stupňů Celsia a tlaku 35 Atm – jako dvojpulový magnet rotoru sloužil systém buzený termočlánkem, který energii odebíral přímo z lázně ve které rotoval. System pracoval v synchronním režimu – ten nám dnešní motory rozbíhá onu první vteřinu po zapnutí // nepopletme si synchronní režim s režimem synchronizovaným ! //.

1.2

Základní parametry motoru

Nejdůležitějším údajem motoru je tzv. **štitkový výkon** udávaný v jednotce **W** // Watt // Tento údaj nám udává **největší trvalý příkon motoru** v prostředí bez nuceného chlazení. Podíváme - li se na jakýkoli motor profesionální, zjistíme že je takřka vždy vybaven zabudovaným ventilátorem a žebrovaným pláštěm zajišťujícím solidnost a pravdivost tohoto údaje.

Dalším důležitým údajem je napájecí napětí, případně pro rychlou orientaci proud pro max.příkon. Velmi **nadnesené hodnoty** většiny nabízených motorů spoléhají na

dokonalé **chlazení za letu** – tento přístup výrobce se dá s ledovým klidem označit za zcela neseriozní.

Je nutno se také zamyslet nad napájecím napětím pro modelářské motorky.

Rozsah napájecího napětí v modelech je dán dostupnými **mobilními zdroji** a je relativně velmi široký :

| | |
|---------------|--------------|
| 6 – 12 x NICD | 7,2 – 14,4 V |
| 2 x LI-POL | 7,4 V |
| 3 x LI-POL | 11V |

Pro tento rozsah jsou konstruovány všechny elektroniky pro běžné použití a jejich vlastnosti zachrání hodně z nesprávného naladění motoru.

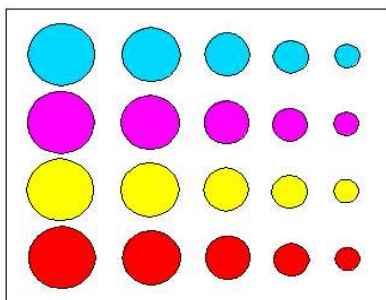
Kvalitní motor odladěný zkušeným vývojářem pro celý rozsah používaných zdrojů // v dané výkonové kategorii // nám ušetří mnoho peněz i času při analýze podivného chování motoru v některých režimech.

1.3

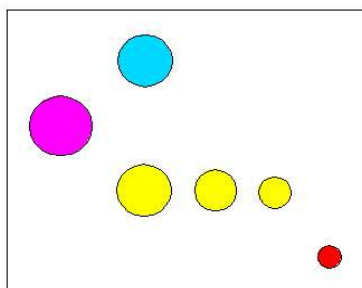
Jaké motory jsou vlastně potřeba pro běžné použití ?

Zde malinko odbočíme k tetce přírodě // hodně tento příklad zjednoduším – odborníci ať se nezlobí //.

Budeme předpokládat , že na nebi jsou hvězdy všech velikostí a barev a hezky si je poskládáme do grafu



Budeme však velmi překvapeni !!



Ve vesmíru najdeme jenom některé druhy hvězd !!

Příroda nám dává tvrdě najevo nepotřebnost některých kategorií !!

Tento přírodní zákon můžeme aplikovat i na motory – ve skutečnosti vůbec nepotřebujeme mnoho a mnoho typů a pro **pokrytí celého pásma použití** nám zcela postačí rozdělit potřebné velikosti motorů jenom do několika výkonových kategorií vzájemně se překrývajícími!

Budeme si pamatovat že množství různých variant jednoho typu motoru je hlavně komerční záležitostí, ale může být také způsobeno neschopností konstruktéra daný motor odladit pro širší **výkonové a napět'ové** pásmo.

1.4

Motor s vnějším či vnitřním rotorem ?

Elektrické vlastnosti obou řešení jsou si zcela **rovnocenné !!** i když na některých diskusních internetových stránkách jsme přesvědčováni ,že tomu tak není.

Rozhodující vlastnosti těchto systémů jsou z 99 procent dány průměrem a šířkou mezery mezi polovými nástavci – pokud vše ostatní je vyřešeno správně.

Motory s vnitřním rotorem // při správném řešení uchycení magnetů atd.// mají ve vysokootáčkových motorech větší **násobek bezpečnosti** při havarii motoru.

1.5

Komutátorový motor

U malých motorů // do $P = 500 \text{ W}$ // **není v účinnosti či výkonu žádný rozdíl.**

Mylný fakt že motor s mechanickým komutátorem je nevýkonný a špatný je modelářské veřejnosti doslova vtoukán do hlavy !! a neustále nesmyslně omílán v různých diskusích na internetových stránkách.

Celá záležitost vznikla podivným srovnáváním komerčních,robustních elektromotorů většinou asijských výrobců či evropských prodejců přelepujících tyto motory svými nálepkami !!.

Je nutno si uvědomit že se prakticky vždy jedná o motor se dvěma poly a třemi polovými nástavci,velmi malým krouticím momentem a pro rozumné použití je takový motor nutno vybavit vhodnou převodovkou, která celou,už tak dost mizernou sestavu

// účinnost,hmotnost // prodražíje.

V oblasti opravdu výkonných malých komutátorových motorů došlo bohužel k něčemu podobnému !!.

Prakticky jediný výrobce těchto motorů se nepokusil o **vícepolový motor** a jeho motory jsou pro modelářskou veřejnost **etalonem výkonového řešení komutátorového motoru** se všemi obecně vžitými omyly.

I přesto ve své době tyto motory byly světovou špičkou.

1.6

Účinnost motoru

Jediným skutečně objektivním způsobem měření účinnosti motorů je **kalorimetrická** metoda.

Jde o velmi náročnou a nákladnou laboratorní práci // znalosti,přístoje atd.//.

Budeme si pamatovat ,že všechny údaje uváděné různými prodejci či testovači jsou získány **náhradními metodami** a že chyby mohou dosahovat až desítek procent.

V zásadě jde vždy o **nějaké číslo** u kterého skoro nikdy není uveden režim ve kterém bylo naměřeno.

Toto číslo tedy slouží v naprosté většině prodejci // či nesolidnímu výrobcu // k reklamnímu přebití konkurence a většinou bývá doslova a do písmene „vycucáno z palce,, .

Mohu zodpovědně prohlásit,že u nás nemá přístup ke kvalitní **motorové brzdě** prakticky nikdo z výrobců či testovačů.

Proto budeme // alespoň prozatím - než někdo sežene pár milionů na zařízení // brát tento **zdánlivě důležitý údaj** s rezervou.

1.7

Generátorový diagram

Generátorový diagram je **hlavní testovací metoda** pro vývoj a naladění **mechanické**

části motoru.

Motor roztočíme vnějším zdrojem energie a sledujeme tvar výstupního napětí.

Vinutí by mělo být zatíženo na cca 1/10 štítkového výkonu.

Na výstupu musí být **dokonalé sinusové napětí** se zcela shodnou amplitudou ze všech polových nastavců a fází, přechod do opačné polarity musí být naprosto plynulý.

Pomocí této metody při vývoji nastavujeme správné geometrické rozměry všech **mechanických dílů** v pracovní mezeře motoru.

Hlavním úkolem je optimalizovat **úhlové záběry** jednotlivých segmentů a **difuzi** magnetického pole.

Teprve u takto odladěné **mechanické jednotky** můžeme začít s testováním vinutí!

Zde se ještě krátce zmíním o jednom údaji někdy uváděném v parametrech motoru.

Je to hodnota **počtu otáček na 1 Volt**.

Tento údaj je některými diskutery neustále připomínán, analysován atd.

Ve skutečnosti je pro praktické použití nedůležitý, neboť motor vždy provozujeme s nějakou zátěží // vrtulí // a režim naprázdno použijeme jen když se chceme pokochat že to běhá // ve skutečnosti tento režim velmi zlobí elektroniku //.

Měření tohoto údaje je sice velmi jednoduché, u malých motorků // s mnoha závitů ve vinutí a relativně větší indukčností // se můžeme snadno dostat do oblasti rezonance a měření bude zatíženo chybou.

Nebudeme tedy s tímto parametrem pracovat a ponecháme jej teoretikům !.

1.8

Magnety

Technicky nejvhodnějším řešením byly, jsou a budou **buzené nástavce** ze stejného materiálu jako opačná strana.

Toto ideální řešení však přináší pro naše účely mnoho komplikací // cena, hmotnost, další vinutí, další elektronika, složitější software atd.//.

Zůstaneme proto pokorně u kompromisu a pro malý motor použijeme magnety permanentní.

Neodymové magnety jsou dnes relativně snadno dosažitelné a jejich vlastnosti jsou pro malé motory uspokojivé.

Musíme si však uvědomit že na tomto komponentu se dá nejvíce pokazit !!.

Jednotlivé segmenty se **přímo účastní přenosu výkonu** a jakákoliv odchylka od konstrukčních pravidel ovlivní dosažitelný výkon a účinnost.

Pro plné výkonové využití je nutno dosáhnout značné shody jednotlivých segmentů.

V praxi musí slušný výrobce či kompletovač bezpodmínečně zajistit párování jednotlivých sad magnetů v toleranci **3 procenta**.

Dalším problemem je symetrie magnetického pole jednotlivých magnetů a prosakování energie do vedlejších segmentů, kterému pro malé rozměry jde jen stěží zabránit.

Toto je však záležitost výrobce magnetů.

Hotové levné magnety čínského původu používané některými z výrobců // většinou určené do těsnění ledniček // splňují některé z požadavků jen z části.

Je evidentní že laciný spotřební motor těmto podmínkám vyhoví jen s velkou rezervou.

V poslední době jsou některými prodejci nabízeny údajně stejně výkonné motory s magnetovými kroužky za menší prodejní cenu.

Jde o řešení inspirované malými motory ze spotřební elektroniky se všemi klady i zápory. Spojitý kroužek z plastu plněný částicemi magnetického materiálu má pro výkonové použití nevhodné vlastnosti.

Zbytkový magnetismus způsobí ve skutečnosti shlukování částic při výrobě, homogenita celého systému je značně narušena a výraznému prosaku nezabrání ani někdy použitá fragmentace kroužku.

Takto konstruované motory pro videa či CD mechaniky pracují vždy s polohovými

snímači, které zajistí správnou funkci a vždy na malém výkonu.

Tyto konstrukce mají ve svém principu pouze přínos ekonomický // výrobce víc vydělá //.

1.9

Tepelné zatížení a životnost motoru

Zdálo by se že motor bez součástek podléhajících opotřebení **vydrží věčně !!**

Není tomu tak!

Modelářské motory jsou provozovány takřka vždy na mezním výkonu // přiznejme si že většina z nás jsou duchem závodníci //.

Pomineme opotřebení ložisek a uděláme si malou statistiku.

Typický je tento teplotní cyklus :

| | |
|----------|--|
| Start | teplota cca 25 – 30 stupňů C |
| Létání | teplota je provozní - cca 100 stupňů C ve vinutí |
| Přistání | teplota pomalu klesá |

Je zřejmé, že toto neustálé **střídání teplot** výrazně zatěžuje mechanickou část motoru // hlavně izolaci vinutí // a právě tento jev nám životnost motoru výrazně snižuje. Citelné problémy mohou nastat překvapivě rychle, u motorů nedbale či vůbec netestovaných na vlivy teploty už po několika desítkách cyklů .

Z uvedeného je patrné že dobrý a kvalitní motor bude vždy celokovový, neboť jen kovové komponenty nám zajistí **dobry odvod ztrátového tepla**.

Motory s plastovými součástkami // prodávány kupodivu za stejnou cenu jako kovové, ačkoli plastový výlisek nedosahuje ani desetiny výrobní ceny kovového motoru // odkážeme do oblasti **levných spotřebních motorů** pro polétání v parku.

Průměrná životnost různých konstrukcí / počet cyklů / kritický komponent

| | |
|-----------------------------------|---|
| celokovový motor s volným vinutím | 1000 – 1500 cyklů/vinutí |
| plastový motor s volným vinutím | 700 – 1200 cyklů/plášť s magnety |
| plastový motor s vinutím zalitým | 500 – 1000 cyklů/vinutí |
| levný motor se spojitým kroužkem | 500 – 1000 cyklů/rotor – odlišná roztažnost |

Data byla získána statisticky z frekvence poruch.

Ve skutečnosti tyto údaje tak hrozivé nejsou!

Nezapomeňme že modelářské motory takřka vždy pracují na **největší možné zatížení** a že statistika speciálních profesionálních motorů není nijak lepší!!

Toto srovnání uvádím proto, že prakticky žádný výrobce nebo prodejce životnost neuvádí. Vždy je totiž něco za něco a sdělit zákazníkovi že si zalétá jen tisíckrát je tabu.

Výhoda nezalitého vinutí je nasnadě – při poruše jde snadno **nedestruktivně** odstranit a navinout nové, což je u vinutí zalitého // v některých typech motorů doslova **zazděného umělou hmotou** // nemožné a prodloužení životnosti výměnou utahaného drátu takového motoru je velmi nákladné, nehledě na silně omezený odvod tepla.

2.0

Vinutí

Motor AA má hezky navinutý drát, je to tedy dobrý motor, motor BB má drát

neurovnaný a ještě výrobce použil více tenkých protože je měl a nechtělo se mu kupovat jeden silný!

Takovéto hodnocení se v některých diskusích už vyskytlo.

Svědčí to však bohužel o tom, že autoři takových prohlášení nemají ani zbla poněti o **elektrických parametrech** této věci!

Elektronika ovládající činnost motoru pracuje v přísně pulsním režimu // z důvodů ztrát v polovodičích // a nedodržení určitých zásad jí může způsobit nemalé problémy. Ideální podoba vinutí tohoto motoru je tzv. vinutí **křížové** – tento způsob mechanického provedení nám zajistí nejmenší **průchozí kapacitu** // kondenzátor paralelně //.

Tato kapacita je velmi nežádoucí v impulsních // nejen // obvodech neboť touto kapacitou prochází proud přímo do zdroje a jeho vysoké hodnoty // stovky Amper – jednotky nSec// přímo ohrožují moderní rychlé spínací prvky.

Další problem je tzv. **skin-efekt** vyskytující se i u tak zdánlivě nízkých kmitočtů používaných v ovládání těchto motorů // přechodové jevy při přepínání //.

Oba tyto jevy nemůžeme sice potlačit zcela // tetka příroda se jen tak ošidit nedá //, ale pro jistotu i vinutí tohoto motoru provedeme podle zásad stanovených ze zkušeností minulých generací vědců a techniků.

Pro správně řešené vinutí tohoto druhu motoru tedy platí :

Vinutí provedeme jako **svazkové** – použijeme takového množství drátků // pro potřebný průřez // co nám dovolí naše technické možnosti.

Svazek drátků vineme pokud možno tzv. **divoce** – není to sice dokonalá náhrada náročného vinutí křížového ale zcela postačuje.

Z uvedeného rozboru je zřejmé, že ono hezké ruční či strojní urovnané vinutí jedním silným drátem je pouze a pouze komerční záležitost // vylepšuje design // a jediným přínosem je pouze větší zisk výrobce který z tohoto důvodu či neznalosti problematiky **porušil technické zásady**.

2.1

Tvar polových nástavců

Prohlédneme- li si jakýkoli profesionální motor // drahý či levný //, uvidíme vždy **polové nástavce tvaru T**.

Je to proto, že tento tvar nám dává nejlepší vlastnosti polového nástavce.

Tento tvar byl stanoven už v dávnověku vývoje motorů a je to v podstatě jediný tvar dávající **uspokojivý generátorový diagram**.

Jakékoli změny tohoto tvaru, ať už vyplývající z osobních pocitů konstruktéra – vynálezce či jeho **alchymistického** přístupu způsobují **degradaci parametrů**.

Takovýto motor bude vždy potřebovat více energie k pokrytí nesprávné činnosti.

V poslední době se ve světě i u nás objevilo **velmi zjednodušené řešení** polových nástavců uzpůsobených pro montáž strojně vinutých cívkových sad.

Toto technologické řešení v době relativně snadno dostupných sad plechů // jen u nás je ve vynikající kvalitě nabízí několik výrobců // nemá žádné opodstatnění.

Přesto, že prakticky **ideální řešení** je známo a používáno desítky let nás konstruktéři takového motoru přesvědčují // většinou nenápadným plíživým tlakem na veřejné mínění na svých tendenčních internetových stránkách // že toto jejich řešení je vyhovující.

Není !!!

Jde vždy o ekonomické důvody! // větší zisk ! //

Přesto jsou takovéto **ošizené výrobky** // jejichž cena by vlastně měla být podstatně nižší než je běžný průměr // prodávány za cenu stejnou jako opravdové motory.

Hodnocení však raději ponechám na modelářské veřejnosti.

Nakonec si stanovíme podobu současného **ideálního motoru** :

celokovová konstrukce
valivá ložiska
párované a dělené neodymové magnety
standardní plechy od profesionálního dodavatele
křížové nebo alespoň divoké vinutí svazkem
objektivně stanovené parametry a technická data bez reklamního zkreslení
vždy solidně deklarovaný maximální bezpečný příkon

Budeme si pamatovat, že jakékoli ústupky od tohoto standardu, ať už z důvodů ekonomických či odborných sniží prestiž Českých výrobců této techniky.

Tento příspěvek není a ani neměl být dokonalým návodem ke stavbě motoru. Problematika je mnohem širší a proto byly vybrány alespoň nejdůležitější témata. Glorifikace a záměrné utajování informací o tomto oboru způsobily jistý druh bezbrannosti ve vztahu prodávající – kupec, snad toto povídání běžnému uživateli usnadní orientaci v ne zcela přesných // někdy i nesolidních // technických údajích a usnadní rozhodování při koupi tohoto zařízení. Příští pokračování se bude zabývat metodami měření jednotlivých komponentů i celého motoru. Začněte si tedy šetřit na kvalitní voltmetr a nějaký přesný teploměr // pokud ho již nevládníte - někdy je vhodný s termočlánkem součástí voltmetru //. Pokusím se popsat alespoň základní diagnostiku pro jednoduché // ale dostatečně přesné // porovnání základních parametrů a budou uveřejněny i návody na zhotovení jednoduchých měřicích přípravků.

V závěru bude pro porovnání popsáno několik obecných a špičkových konstrukcí profesionálních.

Pro Čemech Tonda

