

Trendy v navíjení elektromotorů

Vladimír Olmr, SOPO, s. r. o.

S trochou nadsázky lze říci, že je doba elektromotorová – drony, větrné elektrárny, elektrokola, elektromobily, „elektrovšechno“. Takřka v každém zařízení je ukryt elektromotor. Elektromotor různé konstrukce, různého provedení, pro pohony v nejrůznějších aplikacích. Při vývoji každého elektromotoru byly stanoveny požadavky, které musí ten nebo onen splňovat – např. co největší účinnost, velký moment při nízkých otáčkách, minimální zástavbové rozměry, přesnější řízení atd. Ať už jde o kterýkoli z uvedených požadavků a ať elektromotor vypadá jakkoli, ve svém nitru vždy obsahuje vinutí. V poslední době se, vzhledem k náročným požadavkům a potřebám konstruktérů, stává z navíjení samostatná, velmi speciální a odborná disciplína s náročnými požadavky na odbornost a hlavně špičkové technologické zázemí. Smyslem tohoto článku je přiblížit některé dnešní trendy a možnosti v oblasti navíjení elektromotorů.

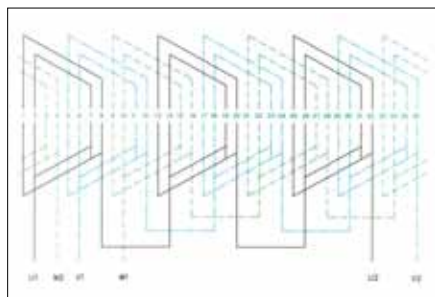
Vinutí, zpravidla vytvořené z měděného drátu, je ta část motoru, v níž průchodem elektrického proudu vzniká magnetické pole. Silové účinky elektromagnetických polí vy-

Historie výroby asynchronních motorů sahá daleko do minulosti, proto je výrobní proces tvorby rozloženého vinutí – technika vtaňování, velmi rozšířen. V případě rozloženého

ná část vinutí překrývá jinou část, do které je cívký třeba ještě vložit, je často nutné vtaňovat kompletní vinutí jedné fáze současně.

Proces výroby rozloženého vinutí

Automatické vtaňování. Vtaňovací stroje vtahují předvyrobené skupiny cívek do drážek statorů. Skupiny cívek jsou často navinuty na flyerových navíječkách a zavěšovány na vtaňovací nástroj pomocí přenášečho nástroje. Skupiny cívek jsou poté vtaňovacím nástrojem vtaženy do předem nasazeného statorového svazku, izolovaného většinou plošnou drážkovou izolací (obr. 2). Cívka se při vtažení ukládá do drážky postupně: na za-



Obr. 1. Schéma kladení cívek v rozloženém vinutí

volávají pohyb jedné části motoru vzhledem k druhé. Podle prostorového uspořádání jednotlivých cívek rozlišujeme vinutí rozložené (běžné, asynchronní) a koncentrované.

Rozložené vinutí

Hlavní „nositel“ tohoto vinutí je asynchronní motor. Co do počtu zaujímá mezi elektromotory na celém světě největší podíl.



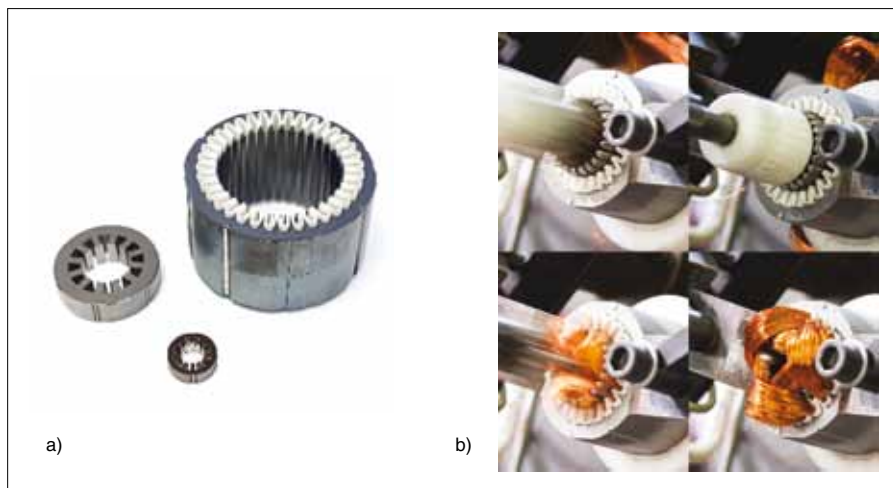
Obr. 3. Stator upnutý do otočného kruhu s cívkami připravenými ke vtažení

vinutí se oproti koncentrovanému vinutí cívky nenavíjejí na každý jednotlivý zub statoru, nýbrž se vkládají do statorových drážek přes vícero zubů (obr. 1). S ohledem na polohu cívek přes několik zubů, kde již vlože-

čátku statoru je již na dně drážky, zatímco na opačném konci se převlékne přes okraje zubů a pak teprve zapadne do drážky po celé její délce. Proto musí být vnitřní délka cívek větší než délka statorového svazku. Tím se vytváří poměrně velké čelo vinutí, typické pro techniku vtaňování.

Poloautomatické vtaňování. Spolu s automatickým vtaňováním je dnes velmi rozšířeno i poloautomatické vtaňování, kdy se stator upíná do otočného kruhu (obr. 3). Skupiny cívek jsou navinuty většinou na lineárních navíječkách a na vtaňovací nástroj se přenáší ručně. Tato technika se používá především tam, kde je pro vinutí statoru požadován velký faktor plnění, a také u statorů s šikmými drážkami. Jak navíječky, tak nástroje pro toto poloautomatické vtaňování jsou několikanásobně levnější než zařízení na automatické vtaňování. Je ekonomické použít je i jako náhradu ručního vkládání.

Po vtažení vinutí se musí vinutí statoru dopracovat. Zpravidla je třeba cívky jednotlivých fází navzájem izolovat mezifázovými izolacemi z plošných nebo lepicích izolačních materiálů. Pak se vytřídí a propojí vývody cí-



Obr. 2. Statorové pakety a rozložené vinutí
a) statorové pakety, b) jednotlivé kroky automatického vtaňování

vek či skupin cívek. Dále se připojí vývodní lanka (tzv. licny). V dalším průběhu zpracování se obě čela vinutí zabandážují a vytvářejí na požadované rozměry. Poté následuje impregnace.

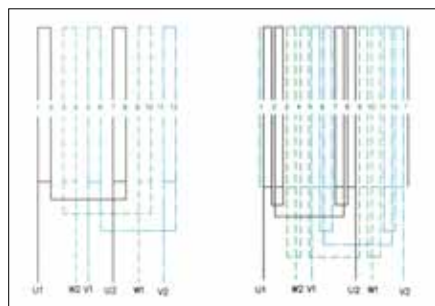
Koncentrované vinutí

Z důvodu přesnějšího řízení, dosažení větších momentů a zmenšení rozměrů se stále více používají místo asynchronních elektromotorů synchronní elektromotory s permanentními magnety. Použitím koncentrovaného vinutí se výrazně sníží spotřeba měděného drátu v porovnání s rozloženým vinutím. Při výrobě asynchronních motorů (rozložené vinutí) se obvykle používají poměrně drahé vtaňovací přípravky. Oproti tomu koncentrované navíjení statorů synchronních motorů s permanentními magnety je ve výrobním procesu flexibilnější a výsledkem jsou elektromotory, které šetří energii, lépe se řídí a zaujímají menší prostor.

Proces výroby koncentrovaného vinutí

Pro výrobu statorových koncentrovaných vinutí lze většinou zvolit několik navíjecích metod a postupů. Výběr metody závisí na provedení a konstrukci statoru a většinou též na komerčních aspektech.

Výjimku v nedávné minulosti tvořila konstrukce statoru plných stříhů s drážkami uvnitř, které se daly zpracovat pouze jehlovou navíjecí technikou. V současné době je možné vysoce efektivně vtaňovat vinutí do těchto statorů i speciálními nástroji pro koncentrovaná vinutí. Většina koncentrovaných vinutí se provádí jako dvouvrstvá vinutí. To znamená, že kolem každého zubu je navinutá



Obr. 4. Schéma kladení cívek v koncentrovaném vinutí

cívka, takže v každé drážce se nachází jedna strana od dvou sousedních cívek (obr. 4). Je-li vinutí jednovrstvé, je každý druhý zub nenavínutý, takže v každé drážce se vždy nachází jen jedna strana cívky.

Statory s plným stříhem a drážkami na vnitřní straně

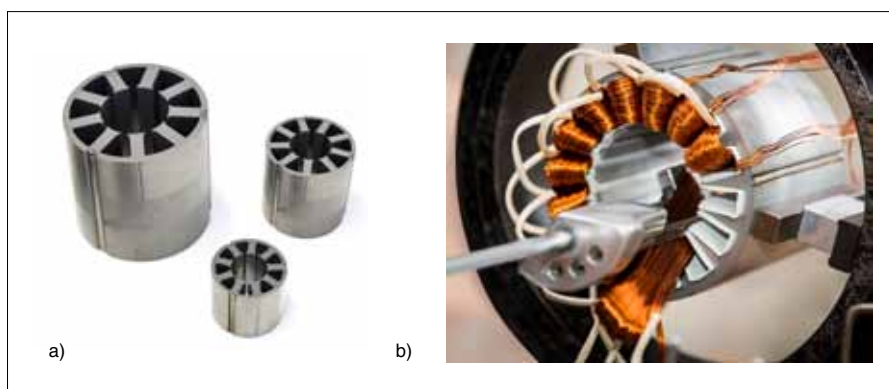
Jehlové navíjení. Obzvláštní výhodou této metody spočívá v tom, že lze navinout na navíjecím stroji hotové statory, které není třeba dále dopracovávat (zapojení, ban-

dáž apod.). S ohledem na malou časovou náročnost výroby funkčního statoru se obvykle počítá s menším faktorem plnění. Aby se daly využít různé dodatečné funkce navíječky, jsou izolační čela často navržena tak, aby umožnila např. upínání a stříhání kontaktů. Kromě toho mohou být kvůli omezenému navíjecímu prostoru integrovány kanálky pro vedení spojovacích drátů fáze. Velkou nevýhodou je menší faktor plnění, velmi omezená možnost použít drát větší-

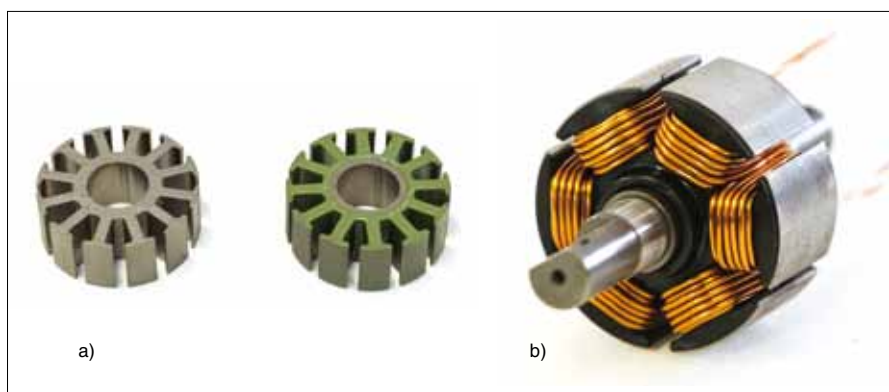
lepídlo apod.), což přináší zásadní zlevnění a velkou variabilitu ve výrobě. Velkou výhodou je také možnost navíjet celou fázi najednou, a tím eliminovat spojky a případné komplikace s nimi související.

Statory s plným stříhem a drážkami na vnější straně

Statory s plným stříhem a drážkami na vnější straně (obr. 6) lze zpracovat technikou navíjení jehlou, flyerovou navíjecí technikou



Obr. 5. Statory s plným stříhem pro koncentrované vinutí a) tvar statorových paketů b) vtaňování cívky do vnitřních drážek statoru



Obr. 6. Statory s plným stříhem a drážkami na vnější straně a) tvar statorových paketů, b) navinutý stator se šesti zuby

ho průměru, či nemožnost navíjet několika paralelními dráty současně.

Vtaňování. Tato technika se používá především tam, kde jsou žádány motory špičkových parametrů v kombinaci s velkou mechanickou stabilitou. Je zde totiž možné dosáhnout podstatně většího faktoru plnění a navíjet takřka neomezeným počtem paralelních drátů (obr. 5). K dalším nesporným výhodám patří možnost izolovat tyto statory pouze drážkovou izolací s lemy, bez nutnosti použít plastová čela. Největší nevýhodou je nutnost dopracovat stator jako v případě rozloženého vinutí. Celková doba výroby je tedy většinou delší než při jehlovém navíjení.

V poslední době je velmi populární a žádané navíjení do statorového svazku, který je tvořen navzájem nespojenými plechy. Při této technice odpadá nutnost lisované plechy před navíjením jakkoli spojovat (nýt, svár,

i lineární navíjecí technikou. Vybraná metoda závisí na počtu závitů, počtu paralelních drátů, průměru a požadovaném faktoru plnění. Flyerová navíječka nabízí zásadní výhodu oproti technice navíjení jehlou, neboť navíjení probíhá s vysokými otáčkami, a tím je kratší čas výrobní operace. Tento způsob navíjení nepotřebuje prostor pro navíjecí jehlu mezi dráty sousedních cívek v drážce. Statory s malým počtem závitů je možné navíjet pomocí techniky navíjení jehlou nebo lineární navíjecí technikou.

Statory složené z vnitřní hvězdy s rovnými póly a vnějšího převlečného válce

Tato konstrukce statoru je v poslední době velmi využívaná a oblíbená. Snad jedinou nevýhodou je vyšší pořizovací cena dvoudílného statorového svazku. Ve výsledku jde o velmi kompaktní stator s možností maximálního faktoru plnění. Na vnitřní

díl, tzn. hvězdu s rovnými vnějšími póly, se vkládají cívky – buď samonosné, nebo navinuté na plastových kostřičkách. Vedle vysokého faktoru plnění je velkou výhodou i možnost navíjet celé vinutí jedné fáze najednou a také možnost navíjet drátem velkého průměru, popř. velkým množstvím paralelních drátů. Zcela novou technikou je navíjení flyerovým navíjecím automatem na tzv. přednasazenou cívku (obr. 7). Plastové kostřičky se pouze částečně „přednasadí“ na póly a po navinutí se dolisují. Přes takto navinutou část se poté nasadí druhý díl magnetického obvodu – vnější válec tvořený svazkem plechů. Pro tyto statory lze využít i lineární a jehlové navíjení. Tak jako v jiných případech záleží na konstrukci, technických požadavcích a velikosti série.

Segmentové statory

Segmentové statory jsou konstruovány tak, že každý zub je samostatně složen z plechů tvořících jeden segment. Segmenty se složí v jeden stator až po navinutí cívek. Díky volně přístupnému prostoru k navíjení se tato

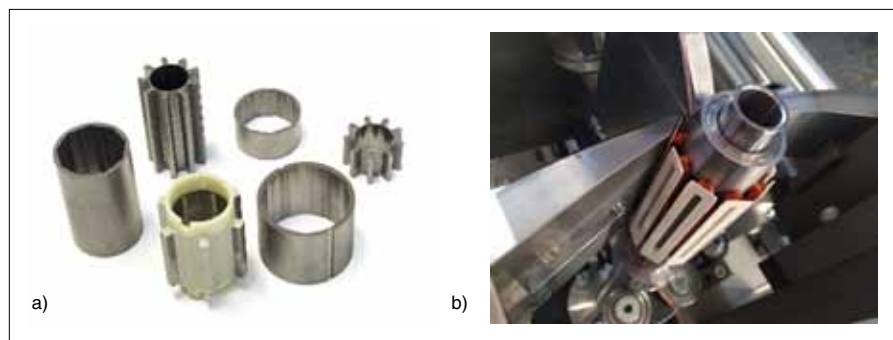


Obr. 8. Segmentový stator a jednotlivé segmenty

z čepiček v kombinaci s plošnou izolací, či plastem zastříknuté plochy segmentů. Nevýhodou může být rovněž velký počet spojek (kontaktů).

Segmenty navíjené po fázích. Segmenty se často vyrábějí jako sloučení jedné fáze v podobě nespojeného segmentového řetězce. I v tomto případě lze použít jak lineární, tak i flyerovou navíjecí techniku. Při navíjení

ně navíjených segmentů (maximální faktor plnění). Zde se využívá navíjení segmentů rozvinutých do roviny vedle sebe. Tím se struktura statoru rozevře do lineárního uspořádání. Spojovací dráty dílčích cívek fáze zapojené v řadě se nemusí oddělovat a posléze spojovat, takže oproti samostatným segmentům je zapotřebí jen málo spojek. Tento technologický postup je však velmi náročný na výrobu segmentových svazků a stává se výhodnější až při velkosériové výrobě. V poslední době se od něj spíše ustupuje a zdokonalují se předchozí technologická řešení.



Obr. 7. Složené pakety a jejich vinutí a) dělené statorové svazky, b) navíjení cívek přednasazených na póly.

konstrukce využívá i tehdy, je-li požadavek na vysoký faktor plnění; je totiž možné použít ortocyklické (pravidelné, pečlivě nařádkované) vinutí, velký průměr vodiče a velký počet paralelních drátů. Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena segmentů. Výrobní prostředky pro navíjení lze, obzvláště u menších a středních sérií, řešit jednoduše a s minimálními vstupními náklady využitím lineárního navíjení za pomoci speciálních navíjecích přípravků. Segmentové statory jsou nejméně mechanicky stabilní.

Samostatné segmenty. Segmenty (obr. 8) se přednostně navíjejí lineární nebo flyerovou navíjecí technikou. Přípravky k navíjení se s ohledem na fixaci pólu v navíjecím přípravku koncipují většinou tak, aby se mohlo provést upnutí na zadní straně segmentu pomocí lichoběžníkové drážky – ryby. Někdy se využívá vnější tvar segmentu, který později tvoří kontaktní plochu k sousednímu segmentu při složeném statoru. Stejným způsobem jako u plných stříhů s drážkami na vnitřní či na vnější straně lze k izolaci vinutí segmentu zvolit podle potřeby buď plošnou izolaci, nebo plastovou izolaci

se z konce cívky navinuté kolem segmentu vede drát bez přerušení k dalšímu segmentu, kde tvoří začátek druhé cívky (obr. 9). Podle počtu dílčích segmentů jedné fáze pokračuje tento postup dále. Ohledně konstrukce dílů zde není žádný podstatný rozdíl oproti klasickým jednotlivým segmentům. Hlavním důvodem pro zpracování segmentů v řetězci je omezení počtu spojek mezi cívkami. Speciálně pro aplikace s velkými proudy a nízkým provozním napětím je tento způsob výroby výhodný, protože jsou omezeny přechodové odpory a možnosti chyb v místě spojek. V ideálním případě je výhodné izolovat přechody mezi jednotlivými segmenty izolační trubičkou (bužirkou), která se nasazuje přímo při procesu navíjení.

Řetězce segmentů. Takto navržená konstrukce statoru se pokouší kombinovat výhody plného stříhu navíjeného jehlou (minimální počet spojek) s výhodami lineár-

Specializace a odbornost především

Společnost SOPO se před časem rozhodla nezabývat se výrobou celých motorů, ale zaměřit se pouze na výrobu vinutých dílů pro elektromotory. Vývoj pohonů a tedy i elektromotorů jde velmi rychle kupředu – díky využívání akumulátorových baterií jako zdroje energie, díky elektronickému řízení atd.



Obr. 9. Segmenty jedné fáze

Spolu s tím je i velmi rychlý pokrok v oboru navíjecí techniky. SOPO se snaží být lídrem mezi výrobci vinutí a být špičkovým dodavatelem výrobcům elektromotorů, kteří nemohou nebo z ekonomických, personálních, či jiných důvodů nechtějí sledovat všechny nové trendy technologií a právě oblast navíjení ponechávají na firmě SOPO.

www.sopo.cz