

Na základe prednášok doc. Ing. J. Petra, CSc. v predmete X13VSZ — výroba silnoproudých zařízení spracoval Karol Bujaček. Letný semester roku 2007/2008.

Tento dokument vznikol iba na základe zápisov z prednášok, nejde o text vytvorený doc. Petrom.

1. Organizačné záležitosti

Ak niečo potrebujeme, môžeme prísť. Ľudské styky sú niekedy lepšie.

V tomto predmete budeme počuť rôzne veci o výrobe. Podklady sú dostupné na web stránkach katedry. V PDF dokumente je zhruba 100 strán, na prednáške k nim bude slovný komentár a prípadne ilustračné obrázky a fotografie. Strany 33–88 budú pri skúške tie hlavné. Strany 1–7, 15–25 a 28–29 je treba si prečítať, ale nie sú úplne podstatné (na skúške môže byť otázka, ale značne široká). Okrem toho bude poskytnutý ešte nejaký dodatkový text (to ale až behom semestru).

Väčšinou pôjde o rozprávanie na tému „ako sa tie stroje vyrábajú.“

Dva týždne pred koncom semestru budú môcť záujemcovia ísť na jeden z dvoch predtermínov (vo štvrtok po prednáške). Zápočet môžeme dostať už v predposlednom týždni.

Rotor ktorý vypochoďoval na pole, tam tancoval a vyvrtal dieru. Potom si do nej lahol. Našťatie na tom poli nikto neorol, ani ten Přemysl.

2. Rozdelenie točivých elektrických strojov

Pri výrobe malých strojov (do výkonu 10 kW) sa vo väčšine prípadov uplatňuje sériová výroba. Pri výrobe stredných (do 1 MW) a veľkých strojov ide o kusovú výrobu — čím väčší stroj, tým viac sa uplatňuje.

Podľa princípu činnosti ide o stroje jednosmerné a asynchrónne (majú rovnaký stator, rotor je rozdielny), synchronne alebo alternatívne.

Podľa účelu použitia ide najmä o motory pre trakciu, žeriavy, valcovacie stolice, kompresory, vodárne, ťažobné stroje, rýchlobehné aplikácie. Každý typ pohonu môže mať (a väčšinou aj má) odlišné technologické nároky.

3. Rozdelenie netočivých elektrických strojov

Ide hlavne o transformátory, tlmivky a elektromagnety. My sa budeme venovať hlavne transformátorom väčších výkonov.

Malé transformátory: do 10 kW, stredné: do 1 MW, veľké: nad 1 MW. Stredné a veľké transformátory sú na väčšie napätie.

Podľa vyhotovenia ide o transformátory vzduchové (do jednotiek MW; špičková firma môže vyrobiť suchý transformátor aj pre desiatky MW, ale nie je to obvyklé) alebo olejové. Olejové transformátory sú najčastejšie. Keďže olej by mohol z transformátoru vytiecť, býva pod ním veľká nádoba na jeho zachytenie. Ďalší problém súvisí s horľavosťou oleja (vyplýva z toho nižšia dovolená prevádzková teplota).

Taktiež existujú transformátory špeciálne — napríklad autotransformátory, regulačné transformátory a podobne.

4. Výkony elektrických strojov

Spodná hranica nás príliš nezaujíma, ide napríklad o malé motorčeky v hračkách.

Aká bude horná hranica? Záleží to najmä na type stroja. Veľké turboalternátory sú pre napätie 24 kV a výkon 1000 MVA. K nim by bol potrebný transformátor na 1000 MVA. To by bol ale „poriadny kus“ a mohli by byť technologické problémy s jeho výrobou a prepravou. Tie najväčšie transformátory sa preto nevyrábajú ako trojfázové, ale použijú sa tri jednofázové. Môžu tak byť menšie, mať menší výkon a menšie nároky na výrobu a prepravu.

Áké výkony sa používajú v praxi? Najväčšie výkony sú 300–500 MVA a ide o turboalternátory v parných a atómových elektrárnach. Hydroalternátory majú výkony menšie.

Je treba myslieť na to, že výkon, nominálne napätie, vyhotovenie a použitie transformátoru spolu súvisia.

5. Charakteristika výroby

Poznáme dva základné princípy výroby: kusová a sériová.

Kusová výroba sa uplatňuje najmä pri výrobe veľkých strojov. Samozrejme, zákazník môže chcieť na zákazku aj malý stroj, ale nie je to tak časté (je to finančne náročné). Uplatňuje sa teda najmä pre stroje veľkých výkonov, nad 100 kW respektíve 1 MW.

Čím je stroj väčší tým väčší problém môže vzniknúť pri zanesení nejakej chyby pri výrobe. Keďže sa tu objavuje veľa ručnej práce (30–50 %), je dôležité dbať na vplyv ľudského faktoru (človek môže nevedieť, alebo môže byť fyzicky vyčerpaný).

Jeden hydroalternátor (teda nie ten najvýkonnejší stroj) má okolo milióna súčiastok (počítané je všetko, čo sa dá zobrať ako jeden kus, teda aj matičky, skrutky, ...). Na pracovníka sú kladené veľké nároky: k samostatnej práci je pripustený až po dlhšej dobe, keď má zamestnávateľ voči jeho schopnostiam a voči nemu samotnému dôveru.

Z hľadiska technologického usporiadania ide o použitie veľkých špeciálnych strojov a náročnú technologickú prípravu výroby.

Na rozdiel od kusovej výroby, sa hromadná uplatňuje najmä pri výrobe menších strojov. Využíva predmetové usporiadanie, malý stroj je možné pomocou automatizovaných výrobných liniek presúvať k jednorúčovým strojom. Prípadná chyba vo výrobe sa ale objaví pri veľkom počte výrobkov (pretože sa stihnú vyrobiť pred tým, než chybu odhalíme).

Snažíme sa o stavebnicosť, modulárnosť a štandardizáciu výrobkov i technológií. Je to vhodné z toho dôvodu, že je možné jednoduchšie vykonávať servis a opravy, prípadne upravovať výrobky pomocou výmenných dielov — modulov.

6. Systémové pojatie technickej prípravy výroby

Problém: Charakteristika technickej prípravy výroby podľa úplnosti výrobného cyklu a sériovosti výroby.

Podiel ručnej práce podľa technológií (montáže cez 30 %).

Využitie disponibilného časového fondu podľa zmenaovosti, technologickosti a automatizácie.

Ukazovatele pre hodnotenie úrovne výrobkov a výroby: normohodina(Nh)/kW, Nh/kus(ks) — pracovnosť, ks/nh — výkon, Nh/Kč, Kč/kg, kg/ks, P_{\max} , n_{\max} , Kč/m², Kč/osoba, t/m².

Normohodina je doba potrebná pre vykonanie konkrétnej práce vzťahnutá na kalkulačnú jednotku (kus, tonu, m², m³, ...). Teda: *za ako dlho vyrobím 1 kg materiálu?*

Produktivita práce je účinnosť práce a je definovaná ako:

$$P = \frac{\text{výstup}}{\text{vstup}}.$$

Ako aj vstup tak aj výstup môže byť v kg, ks, m, Kč, Nh, počtoch pracovníkov a podobne. Najčastejšie sa uvádza

$$P = \frac{\text{tržby}}{\text{náklady}},$$

ak nie sú jednotky rovnaké tak sa uvádza v percentách.

7. Členenie výroby

Podľa vzťahu k výrobku môže ísť o výrobu hlavnú alebo o pomocné a obslužné procesy. Hlavná výroba sa môže rozdeliť na predhotovujúcu (polotovary), zhotovujúcu a dohotovujúcu. Pomocné a obslužné procesy sú značne závislé na sériovosti výroby a čo do ceny, môžu niekedy prevážiť hlavnú výrobu (najmä ak ide o nejaký špecifický úkon).

Podľa vzťahu k výrobnému programu môže ísť napríklad o hlavnú, o doplnkovú alebo o pridruženú výrobu.

Podľa úplnosti výrobného cyklu môže ísť napríklad o výrobu s úplným výrobným cyklom, o výrobu polotovarov, o montážne závody.

8. Konštrukčná príprava výroby

Ide o systém montážnych celkov a štandardizáciu, predstavuje až 25 % výrobných nákladov.

Pre zmenšenie podielu rutinných prác sa využívajú systémy CAD. Je tak možné zmenšiť potrebný počet konštruktérov voči robotníkom.

9. Technologická príprava výroby

Ide najmä o rozbor súčiastkovej základne (štandardizáciu), výber polotovarov a poradia operácií, výber strojov, nástrojov a meradiel, výpočet technicko-ekonomických údajov (materiál, energia, čas).

Rozsah technologickej dokumentácie je závislý na charaktere výroby (kvalifikácia robotníkov).

Štandardizácia technologickej prípravy výroby prináša možnosť aplikácie výpočtovej techniky.

Technologická príprava výroby tvorí podstatnú časť výroby (vlastne ide o kancelárske operácie). Ale do tohto predmetu to nepatrí, to by sme nemali čas dozvedieť sa niečo o výrobe.

10. Kovové konštrukčné materiály

Ide o veľa rôznych materiálov, napríklad: oceľ tr. 11 pre zvarané konštrukcie, oceľ tr. 11 až 12 pre menšie hriadele, ocele tr. 16 až 17 pre turbostroje a obruče.

Turbostroje patria do oblasti točivých strojov s veľmi vysokými otáčkami — prevádzkové otáčky 3000 ot/min, skúšané pri 4000 ot/min. Sú teda použité vysokokvalitné ocele, tie najlepšie aké vôbec môžu byť. Z takejto ocele je vykovaný rotor. V ňom sú vyfrézované zuby, ktoré by sa mohli mechanicky odtrhnúť a spôsobiť veľké škody. Sme schopní vytvoriť rotor do priemeru 1,1 m (pri väčšom priemeru by bola odstredivá sila príliš veľká, kvalita oceli nedostatočná a zuby by sa mohli vytrhať. Rotor teda musíme spraviť dlhý — to ale prináša ďalší problém, dlhý rotor s malým priemerom sa môže rozkmitať ako struna.

Obruče, slangovo nazývané *kapny*, držia vinutie a chránia ho pred účinkami obrovskej odstredivej sily. Obruč sa nasádza za tepla (pôsobením tepla zväčší svoj priemer) a po vychladnutí sa pevne usadí. Výrobná cena dvoch obručí je veľká, môže dosahovať hodnotu až jedného milióna korún.

Kostry strojov sa vyrábajú z liatiny, hliníku alebo zvarencov.

Hliník je dnes ale anomália. Boli doby, keď medi bolo málo a bola príliš drahá. Podobne to bolo aj s oceľou. Na výrobu celých asynchronných motorov z hliníku (celohliníkových) bol vyvíjaný finančný aj politický tlak. Z hliníku neboli vytvorené iba ložiská a magnetický obvod (to by naozaj technicky nešlo). Hliník má oproti medi menšiu vodivosť a motor teda musel byť väčší. Zmena rozmerov razených plechov pre magnetický obvod bola náročná a teda motor bol dlhší — naukladalo sa viac plechov za seba.

Ďalší problém hliníku je ten, že tečie. Preto je potrebné doťahovať svorky, aby nedošlo k prerušeniu vodiča. Je dôležité, aby sa v žiadnom prípade neprerušil nulový vodič — viedlo by to k smrteľným úrazom, na kostre by sa objavilo takmer plné napätie zdroja a stačilo by sa chytiť nejakého vodivého/uzemneného predmetu.

Rôzne ďalšie komponenty môžu byť vyrábané z neželezných materiálov — mosadz, bronz a podobne.

11. Výroba hriadeľov

Problémom môže byť dosiahnutie požadovanej pevnosti, presných brúsených plôch a rozmerov podľa normy.

Vstupným materiálom býva napríklad valcovaná oceľ (do \varnothing 150 mm), pre hromadnejšiu výrobu oceľ kalibrovaná ťahaná (do \varnothing 70 mm) alebo tepelne spracovaná kovaná hriadeľ.

Kvalita materiálov je kontrolovaná, prídavky do 5 mm pri valcovaných polotovaroch.

12. Postup výroby kovaných hriadeľov

Postup pozostáva z niekoľkých krokov: o liatie ingotov do kovových kokíl¹⁾ (ide zhruba o dvojnásobnú hmotnosť), o kovanie — vybranie odliatku z kokily pri cca 700 °C, o eventuálne prihrievanie a o žihanie

¹⁾ Kokila — kovová (liatinová) odlievacia forma na oceliarske alebo lejárské odliatky.

pri teplote 700–800 °C s eventuálnym popúšťaním. Pri zohriatí a pomalom ochladzovaní totiž prebieha rekryštalizácia a zlepšuje sa kvalita materiálu.

Osový vývrt slúži na odber vzoriek z hriadeľa. Netýka sa to iných rotorov než turborotorov — turborotory sú totiž špičky vo výrobe rotorov, je to taká šľachta (v zmysle šľachta ako spoločenské postavenie, ich výroba je totiž náročná, pretože ide o veľmi dlhý rotor). Ide vlastne o vyvrtanú dieru, dlhú asi 8 m a s priemerom niekoľko centimetrov. Vývrt vytvárame preto, aby sme zistili, či je rotor dobre vytvorený. Otvor vyleštíme a hodnotíme kvalitu ocele. Nakoniec ním môžeme niečo viesť, napríklad privody budiaceho vinutia.

Taktiež je možné (a často nevyhnutné) vykonávať skúšky vizuálne, jednosmerným prúdom, ultrazvukom prípadne mechanické skúšky odobraných vzoriek.

13. Obrábanie hriadeľov

Kúpená oceľová hriadeľ nemusí byť rovná. Je vhodné ju teda vyrovnať pomocou valčekov alebo lisov.

Požadovanú dĺžku (ak takú hriadeľ nekúpime) môžeme získať delením, napríklad pomocou pily, nožníc alebo plameňa. Potom budeme musieť zarovnať čelá, napríklad pomocou jednoúčelového stroja (taký stroj sa oplatí najmä pri výrobe veľkých sérií).

Medzi ďalšie operácie patrí napríklad centrovanie (orysovanie na doskách) alebo hrubovanie (hrubovanie je to prvé obrábanie, „na hrubo“).

Hriadeľ obrábame sústružením, napríklad s pozdĺžnym posuvom alebo so zapichnutím a pozdĺžnym posunom.

Na konci hriadeľa býva príruha. Pomocou nej je spojený s nejakým iným hriadeľom (strojom). Ak spojíme dve hriadele (pritom obe sú dlhé), položené na dva krajné konce, tak sa prehnú (priehyb môže byť tak malý, že ho okom nevidieť, ale bude tam). Tak budú hriadele a spoj namáhané a môže to viesť k veľkým problémom. Mohol by sa napríklad odtrhnúť kus z rotoru a zničiť statorové vinutie, rotor by mohol vypadnúť zo statoru. Riešením je napríklad uloženie jednej strany rotoru (tej vzdialenejšej od spoju) o niečo vyššie, napríklad o milimeter.

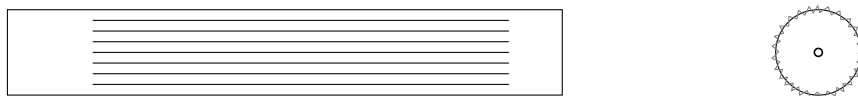
Ďalším problémom rotorov sú ložiskové prúdy. Ložiská sú elektricky vodivé a tečie nimi prúd do zeme. Môže to spôsobovať problémy.

Často potrebujeme hriadeľ brúsiť. Kde? Tam, kde vyžadujeme hladkú plochu: napríklad ložiská. Veľké stroje majú brúsený hriadeľ a klzné ložisko s olejovým filmom (mechanicky odolnejšie riešenie, ak by bolo ložisko guľôčkové tak sa guľôčky deformujú).

Brúsenie môže byť napríklad medzi hrotmi, hĺbkové, priečne alebo stupňové.

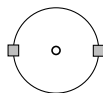
Často sa snažíme o automatizáciu výroby, ale niekedy je veľmi náročná. Napríklad rotor môže nejaké mechanické chápadlo chytiť dobre, ale pri dvíhaní plechu by to bolo náročné. Plech pre magnetické obvody totiž nie je možné ohýbať, narástli by pri tom magnetické straty.

Na vyhotovenú hriadeľ musíme nasadiť vlastný rotor a umožniť prenos sily respektíve momentu. Sú rôzne spôsoby. Pre menšie stroje je bežné použitie vrúbkovania, pozdĺžnych drážok.



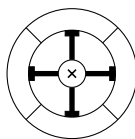
Obrázok 1.: Upevnenie rotoru pomocou vrúbkovania.

Iný spôsob spočíva v použití pier. V plechoch magnetického obvodu sú vyhotovené drážky/zárezy a do nich zatlačíme oceľové perá.



Obrázok 2.: Upevnenie rotoru pomocou pier.

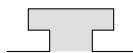
Ak je celkový priemer rotoru veľký, môžeme použiť upevnenie pomocou rebier, hriadeľ nebude musieť byť s tak veľkým priemerom.



Obrázok 3.: Upevnenie rotoru pomocou rebier.

Aby sme mohli jednotlivé vrstvy skladať z celých kruhov, musí byť priemer do jedného metru (väčšie plechy sa nevyrábajú). Ak je priemer väčší, je treba jednu vrstvu zložiť z viacerých segmentov.

Tak ako v prípade, že ide o celé kruhy aj v prípade, že ide o segmenty, je možné ich na rebrá upevňovať dvoma základnými spôsobmi. Ide o upevnenie na kladivo a na rybinu. Kladivo má tvar písmena „T“, rybina tvar lichobežníkový.



Obrázok 4.: Upevnenie na kladivo.



Obrázok 5.: Upevnenie na rybinu.

14. Triedenie hriadeľov

Je niekoľko typov hriadeľí, napríklad: hriadele hladké — pre menšie stroje, hriadele odstupňované — predstavujú lacnejšie uloženie, hriadele s prírubou — pre valcovacie stolice, hriadele s rebrami.

Taktiež je potrebné realizovať napríklad hrubovanie, tepelné spracovanie, opracovanie rebier (najlepšie spoločne viac rebier naraz), zostavenie do prípravku, nahriatie, sťahovanie, postupné privarenie eventuálne vyžíhanie a opracovanie rebier.

15. Linky na výrobu hriadeľov

Ide o zaujímavú oblasť a výskyt výrobných linky naznačuje, že pôjde o sériovú výrobu. Na vstupe bude guľatina a na výstupe budú vychádzať hriadele pripravené na nasadenie rotoru.

Na linke sa budú nachádzať automatické pracoviská, napríklad pre nastavenie stroja, výmenu nástrojov, kontrolné meranie, operačnú manipuláciu alebo pracoviská medzioperačnej manipulácie.

Výrobná linka býva osadená jednoúčelovými strojmi a výrobok sa medzi nimi presúva po vopred pripravenej výrobných dráhe.

Sériovosť výroby smeruje k vypracovaniu technologického projektu.

16. Obrábanie kostier

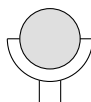
Ide o zložitejšiu situáciu. Kostry sú dvoch druhov: liate (budú sa vytvárať v zlievarni, najmä pre malé stroje) alebo zvarané (pre väčšie motory, do tejto oblasti smeruje výroba).

Na kostry sú kladené značné nároky. Kostra musí byť dostatočne tuhá aby sa nekrútila a aby motor zle nepracoval. Príslušné plochy musia byť rovnobežné a kolmé a musia mať spoločnú os.

17. Špeciálne prípady obrábania hriadeľov a rotorov

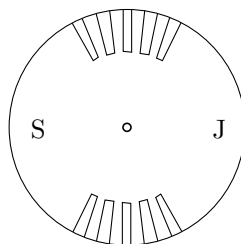
V prípade krabicovej konštrukcie je problémom privarenie rebier na náboje.

V prípade obrábania turbo rotorov je problémov viac. Sú z veľmi kvalitnej chróm niklovej oceli a ide o zložitý výkovok s osovým vývrtom. Pri obrábaní je potrebné hriadeľ podoprieť — mohol by sa prehnúť (pričom priehyb by nemusel byť veľký) a po obrobení by rotor nebol rovný. Podperná časť sa nazýva *luneta*.



Obrázok 6.: Podopretie rotoru lunetou.

Frézovanie drážok je jedna z najnáročnejších operácií. Rotor tulboarternátora nemá pólové nástavce, ale je hladký. V oblasti mimo pólů má vyfrézované drážky. Časť medzi drážkami sa nazýva *zub*. Pri korení zubu je najväčšie namáhanie (mechanické, vplyvom pôsobenia odstredivých síl).



Obrázok 7.: Drážky rotoru turboalternátoru.

Po vložení vinutia bude drážka uzatvorená (zaklínovaná) bronzovým klínom (má výšku zhruba 3 cm, aby vydržal pôsobenie odstredivých síl).

Iným spôsobom vyhotovenia drážok namiesto frézovania je hoblovanie pomocou nástroja nazývaného hoblovka.

Rotory hydroalternátorov majú výrazne iný tvar. Ide o pomalobežné stroje a môžu mať po obvode pripevnené vyniklé póly.

Problémom môže byť zoskrutkovanie ramien na náboj.

18. Postupy obrábania kostier

Je snaha dodržiavať štandardné zvyklosti — starnutie, eventuálne žihanie. Snažíme sa minimalizovať preupínanie.

Pri kusovej výrobe ide o prácu s veľkými obrobkami, použitie presných špeciálnych nástrojov a prepracovaného technologického postupu.

Pri sériovej výrobe ide o technologický projekt (výrobné systémy), eventuálne linky s obrábacími centrami alebo stavebnicovými jednotkami.

19. Obrábanie kostier v kusovej výrobe

Pôjde najmä o zváranie a obrábanie. Ako nástroj používame karusel²⁾

Medzi štandardné problémy veľkých obrobkov patrí napríklad deformácia spôsobená upnutím, tuhosť vzhľadom k obrábaniu, požadované presnosti rozmerov a plôch.

Použité postupy sa líšia počiatočnou plochou upnutia a sledom operácií hlavne podľa pomeru dĺžky a priemeru. Pri porovnateľnej dĺžke a priemere je možné začať s upnutím na stred, ak je priemer výrazne väčší je potrebné upínať na prírubu (čelný sústruh).

20. Obrábanie kostier v hromadnej výrobe

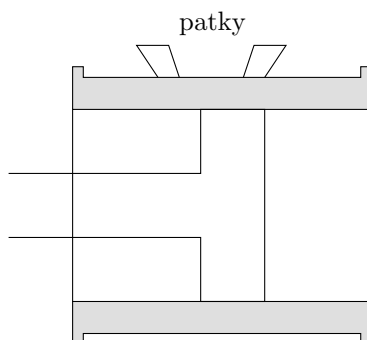
Táto operácia je zložitejšia než v prípade kusovej výroby. Predpokladáme, že kostry sú vyrobené a potrebujeme ich obrobiť. Najčastejším riešením je použitie lineárnej linky.

Ide najmä o sústruženie, vŕtanie a vytváranie závitov. Ako tieto operácie prebiehajú? Niektorí (často to býva človek) zoberie kostru a potom si ďalej výrobok podáva. Kostru je potrebné nejak uchytiť. Ak je to odliatok tak ju nemôžeme upnúť presne a teda zo začiatku obrábania máme nejakú nepresnosť. V niektorej polohe ale musíme začať, nepresnosť neskôr minimalizujeme.

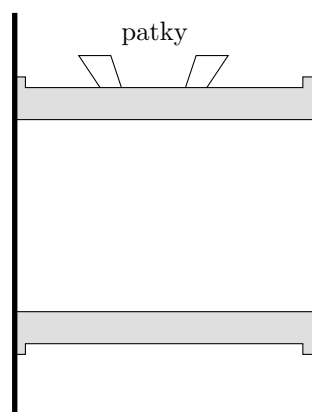
Pre kostry s porovnateľnou dĺžkou a priemerom môžeme upnúť kostru od stredu. Po opracovaní jednej príruby ju pritlačíme na nejakú pevnú stenu a obrobíme aj z druhej strany (to pôvodne nebolo možné, pretože opracovaniu zabráňovala upínacia konštrukcia). Následne sa znova obrobí aj stred (takže ak tam bola nepresnosť tak sme sa jej zbavili). Nakoniec sa dobrušujú príruby a vtlačí sa tam (samonosný) statorový paket.

Takáto koncepcia vyžaduje vyriešenie manipulačného systému (napríklad technologickej palety s presným polohovaním v staniciach).

²⁾ Veľký sústruh na obrábanie rotačných útvarov. Veľkosťou zodpovedá menšiemu kolotoču.



Obrázok 8.: Obrábanie kostry s upnutím na stred.



Obrázok 9.: Obrábanie kostry s upnutím na prírubu.

21. Lisovanie za studena

Výhody: menšia hmotnosť, väčšia pevnosť, hotová súčiastka, veľká produktivita.

Vývojové smery: trvanlivosť lisovadiel, rýchlobežnosť lisov, automatizácia lisovania, zlúčené a postupné lisovanie.

Je treba zvoliť pomer medzi cenou stroja a sériovosťou výroby.

22. Strihanie

Ide o strhanie plechov pre magnetické obvody. Používame niekoľko druhov nožníc, ide napríklad o pákové, ktoré majú tvar „V“ ako klasické nožnice, o tabuľové, kde horný brit strihne na jeden krát a môže byť rôzne tvarovaný, napríklad zaguľatený alebo o kotúčové, ktoré pozostávajú z dvoch proti sebe sa točiacich kotúčov medzi ktorými prechádza plech.

Kotúčové nožnice musia byť z veľmi tvrdého kovu a ich brúsenie je náročné.

Plechové môžeme strihať aj pomocou lisov. Jednoduchý lis pozostáva z priestrižnice, ktorá má tvarovaný otvor a priestrižníku, ktorý do tohto otvoru zhora nabieha. Pri strihaní nesmú vznikať otrepy a lis sa nesmie zadrieť. Preto je medzi priestrižnicou a priestrižníkom vôľa. Aká? To závisí na konkrétnom použití.

Všeobecne lisy poznáme napríklad výstredníkové, pneumatické alebo hydraulické. Skosené brity umožňujú pokles potrebnej sily.

23. Magnetické obvody elektrických strojov

Používajú sa kremíkové plechy s obsah kremíku 0,5–4,5 % a obsahom uhlíku maximálne 0,05 %. Obsah uhlíku znižujeme žiňaním pri teplote 800 °C.

Nie je pravidlom, že magnetický obvod je z kremíkových plechov, ale väčšinou z nich je. Inou variantou je napríklad magneticky mäkká oceľ použitá na póly jednosmerných strojov.

Kremík zvyšuje elektrický odpor plechu a teda znižuje veľkosť strát spôsobených vírivými prúdmi. Zároveň ale zvyšuje mechanickú tvrdosť a strihanie plechov je veľmi náročné (hlavne plechov pre motory

kde sú drážky).

Je niekoľko druhov kremíkových plechov. Pre malé točivé stroje (menšie asynchrónne motory, mixéry a podobne) sa používajú za tepla valcované plechy. Majú pomerne veľký obsah kremíku — 2–3 % a straty $p_1 = 3,0$ W/kg pri indukcií 1 T. Vo väčšine svetovo vyrábaných stredných a najmä veľkých strojoch bývajú neorientované plechy za studena valcované s $p_1 = 2,5$ W/kg.

Pri valcovaní za studena sú plechy hladšie (rozdiel je možné zistiť aj dotykom). Ak sú plechy hladšie tak sa nám ich do paketu podarí vložiť viac a činiteľ plnenia bude lepší.

Pri valcovaní za studena získame rovnaké straty pri menšom množstve kremíku. To prinesie lepšie vlastnosti pri razení otvorov — plech bude menej tvrdý a na nožnice a lisy môžu byť kladené menšie nároky, prípadne ich nie je potreba tak často ostríť.

Pre netočivé stroje, transformátory, sa za tepla valcované plechy používajú len pre tie najmenšie stroje. Všetky stredné a veľké budú z orientovaných za studena valcovaných plechov (s Gossovou štruktúrou). Po nahradení plechov za tepla valcovaných plechmi s Gossovou štruktúrou sa ich objem zmenšil až o štvrtinu, majú menšie magnetizačné prúdy.

Plech je potrebné izolovať. Ak by neboli izolované a pritlačili by sme ich k sebe tak by narástol objem a s ním aj straty vírivými prúdmi.

Plech môžeme izolovať syntetickými lakmi na bázi polyesteru. Ich hrúbka je 0,01 mm, sú priesvitné a sfarbené mierne do hneda.

Dnes je väčšina plechov izolovaná keramickým povlakom. Izolujú sa vo fabrike pri výrobe plechov a teda plech kupujeme už izolovaný. Keramická izolácia preto, lebo je odolná voči žhaniu. Ide o rôzne kremičitany, obchodné názvy napríklad CARLITE, KERIZOL.

Ak je priemer stroja veľký tak sa strihajú jednotlivé segmenty a tie sa skladajú, vrstvy teda nie sú z jedného kusu.

Všetky motory je treba chladiť. Malé motory môžu mať chladenie vzduchové, ale pre väčšie motory je treba použiť napríklad chladenie vodíkové.

Čelo statorového vinutia môže mať pri veľkých strojoch priemer až 1 m. Tvorí kôš a preto sa mu hovorí *košové vinutie*.

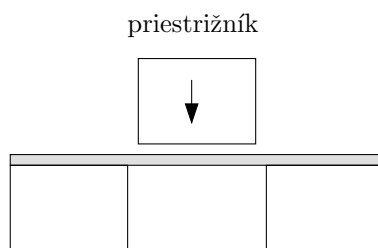
24. Vybavenie lisovní

Ide nám hlavne o prestrihovanie plechov. Používajú sa veľké výstredníkové lisy, vysoké až 5 m. Sú hlučné.

Drážkovací lis vylisováva otvory pre drážky v statore alebo aj v rotore. Lisuje jednu drážku po druhej, po vylisovaní drážky sa statorový plech pootočí. Je tiež možnosť lisovať všetky drážky naraz, ale to je oveľa drahšie.

Z dôvodu plnenia drážok a možnosti poškodenia izolácie vinutia je potrebné dodržať presnú rozteč drážok — aby zapadali jedna na druhú.

Medzi ďalšie vybavenie patria prestrihovadlá: jednoduché, zlúčené, postupové.



Obrázok 10.: Prestrihovadlo.

25. Plechy pre točivé elektrické stroje v kusovej výrobe

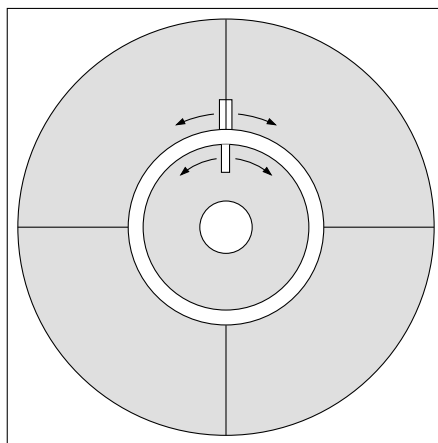
Maximálna šírka plechu ktorý sa vyrába a predáva je 1 m, preto pre priemer statoru do 1 m ide o celé plechy, pri priemere väčšom o segmenty. Jednotlivé segmenty potom prekladáme cez seba tak, aby sa stator nerozpadol.

Medzi kusovou a sériovou výrobou je aj v tom, že do sériovej môžeme viac investovať a náklady sa časom vrátia. Je treba si uvedomiť výroba čoho je kusová: stroja, alebo plechov? Jeden veľký stroj môže byť zložený z niekoľko stoviek až tisícok plechov. Kusová výroba strojov teda vyžaduje sériovú výrobu plechov.

Jednoduché eventuálne zložené prestrihovadlá predstavujú malú produktivitu a eventuálne aj malú presnosť. Z hľadiska tuhosti a presnosti sa snažíme voľiť optimálny sled operácií. Razenie viac drážok naraz je síce presnejšie a predstavuje väčšiu produktivitu, no jednoduchá drážkovačka je cenovo dostupnejšia. Cenovo výhodnejšie je aj nahradenie prestrihovadiel kruhovými nožnicami (ale prestrihovadlá predstavujú väčšiu kvalitu).

Medzi rotorom a statorom asynchrónneho motoru je vzduchová medzera. Je malá a preto musia byť obe časti veľmi presné — aby nedochádzalo k oderom a podobne. Preto je potrebné rotor sústružiť.

Z plechu pre magnetické obvody predpripravíme štvorec. V ňom je naznačená drážka (na vonkajšom obvode), slúži ako pomôcka pre ďalšiu manipuláciu s plechom. Priestrižníkom a priestrižnicou vyrazíme otvor pre rotorový hriadeľ. Vyrazený plech spadne pod lis. Okraj štvorca je vyhodенý vyhadzovačom (pružiny). Taktiež vylisujeme drážku pre pero (slúži na prenos momentu z hriadeľu). Potom plech vložíme do drážkovačky, v nej sa bude postupne otáčať a stroj vydrážkuje celý obvod. Potom ďalší stroj rozdelí tento plech na dve časti: na plech pre stator a pre rotor. Medzi oboma kusmi chýba vzduchová medzera, presne do seba zapadajú. Následne ďalší stroj vyrazí drážky v plechu pre rotor. Ešte ostáva vytvorenie vzduchovej medzery. To sa spraví tak, že po osadení plechov do paketu sa osústružia. Pri tom sa plechy na okraji skratujú. Nie je to až taký problém, pretože v rotore je malá sklzová frekvencia a preto sa v rotore straty vírivými prúdmi príliš neuplatňujú.

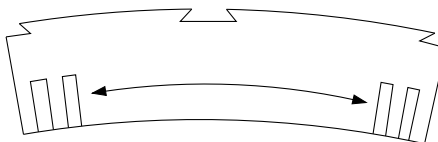


Obrázok 11.: Razenie plechu pre stator a rotor z plechu štvorcového tvaru.

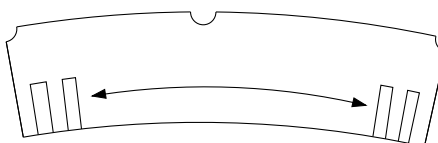
Stator hydroalternátoru je veľký a je teda zložený zo segmentov. Má hlboké drážky. Ako budeme vyrábať taký plech? Záleží to na tom aké budeme mať dostupné zariadenia. Ak budeme chcieť vyrábať veľké počty plechov, môžeme vytvoriť špeciálny stroj, ktorý ich vyrazí naraz. Taký stroj ale bude veľmi drahý a jeho výroba a brúsenie by boli veľmi nákladné. Oplatí sa to teda len pri veľkej výrobe plechov (môže to platiť aj pre kusovú výrobu strojov, jeden stroj obsahuje veľké množstvo plechov). Ak nechceme stroj, ktorý by vyrazil celý plech naraz, môžeme raziť postupne drážku po drážke pomocou drážkovačky.

Keď budeme plechy skladať (väčšinou ide o ručnú prácu, automatizácia je náročná) tak bude kostra postavená na zvislo. Plechy budeme segment po segmente skladať na seba — môžu ich byť tisíce.

Ak majú plechy rybiny tak je nasádzanie náročné. Robotník by totiž vždy musel plech vyniesť až na vrch rotoru, tam nasadiť plech na rybinu a zosunúť ho dole. Preto sa používa aj nasádzanie „na uchá“, je jednoduchšie.



Obrázok 12.: Rybina, nasádzanie na rybinu.



Obrázok 13.: Uchá, nasádzanie na uchá.

Lisy predstavujú nebezpečné zariadenia a preto využívajú základný bezpečnostný prvok: ovládanie je dvojručné, lis pracuje len vtedy, ak pracovník drží oboma rukami dve páky. Priviazanie alebo iné mechanické uchytenie jednej alebo oboch pák je porušenie bezpečnostných predpisov a v horších prípadoch môže viesť až k amputácii rúk.

26. Plechy pre točivé elektrické stroje v sériovej a hromadnej výrobe

Pôjde najmä o menšie stroje, hlavne o asynchrónne motory.

Postupová výroba: je produktívnejšia, ale s menšou presnosťou. Máme nastrihané pásy plechu (pri malých strojoch je priemer väčšinou menší než rozmery plechu ktorý kúpime). Pás sa posúva a postupne sa na ňom vykonávajú operácie. Lis môže mať aj niekoľko priestrižníkov a vyraziť viac vecí naraz, ale ide o tú istú operáciu.

Združené prestrihovadlá sú väčšie stroje s väčšími nárokmi na presnosť. Takýto stroj robí viac vecí naraz, napríklad všetky statorové/rotorové drážky naraz. Takéto stroje sú drahé a ich automatizácia je obtiažna. Taktiež je problematické brúsenie.

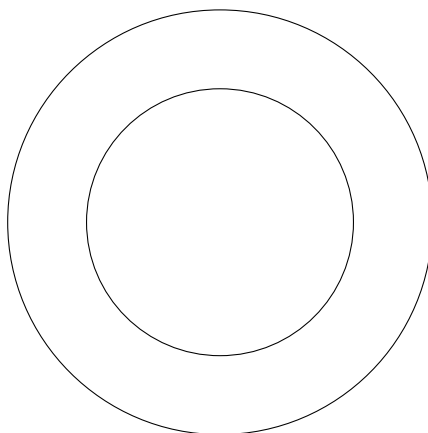
Pólové nástavce môžu byť plné (z jedného masívneho kusu) alebo z plechov. Tieto plechy je tiež treba raziť.

Plech pre asynchrónne motory majú kruhové drážky, ktoré sú mierne natočené/skrútené — zlepšuje to vlastnosti pri zábere. Do nich je pod tlakom nastriekaný tekutý hliník z ktorého sú taktiež lopatky chladiacich ventilátorov a vyvažovacie nity.

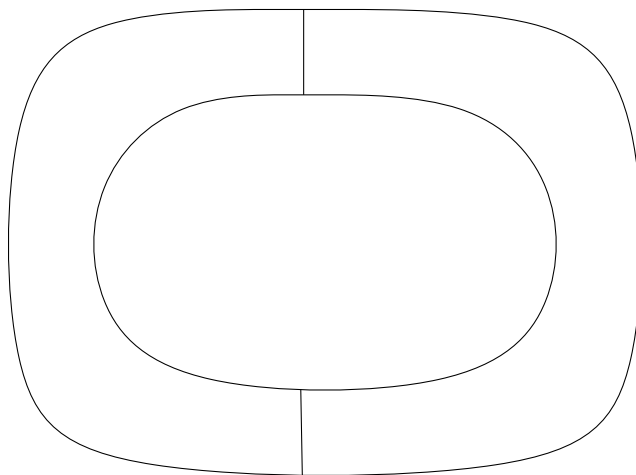
27. Plechy pre transformátory

Používajú sa plechy orientované, za studena valcované. Sú anizotropné, v smere valcovania majú najlepšie magnetické vlastnosti. V prípade transformátorov to je výhodné, pretože segmenty sú lineárne a nie kruhové ako v prípade točivých strojov. Plech teda využívame len v jednom smere.

Ideálnym tvarom by bol toroid, prípadne jadro zložené z dvoch častí v tvare písmena „C“, ale nie pre veľké výkony.

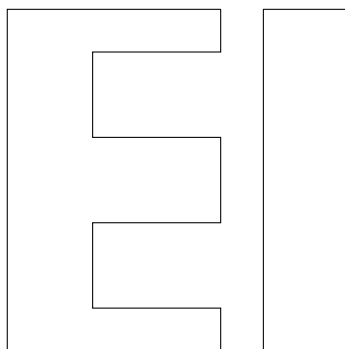


Obrázok 14.: Toroidové jadro.

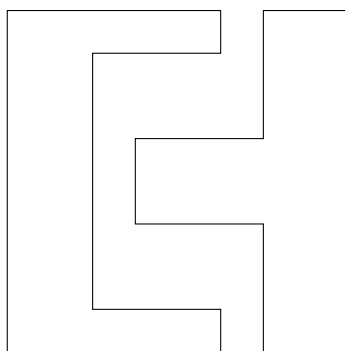


Obrázok 15.: Jadro typu „C.“

Ďalšou možnosťou ako vyhotoviť transformátorové jadro spočíva v použití plechov v tvare písmena „E“ a „I“ respektíve „C“ a „T“.



Obrázok 16.: Transformátorové jadro EI.

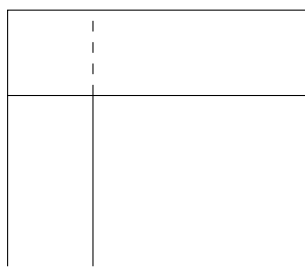


Obrázok 17.: Transformátorové jadro CT.

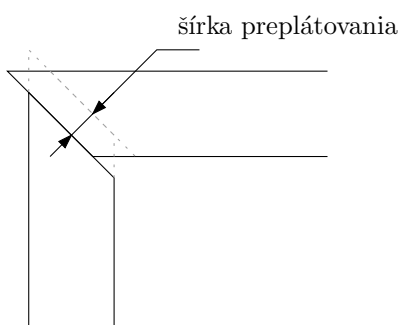
Magnetické obvody najväčších transformátorov musia mať ešte menšie straty a preto sú zložené z rovných častí. Je potreba upraviť okraje a hrany a odstrániť otrepy (nebezpečie skratovania). Možným riešením je napríklad brúsenie, alebo valcovanie.

Ak orientovaný plech striháme alebo sa pri prenášaní ohne, narastú straty. Straty jedného plechu síce vzrastú málo, ale plechov je tam veľmi veľa. Žíhaním pri teplote 800–900 °C sa vlastnosti plechu buď vrátia na pôvodnú hodnotu (pred neopatrnou manipuláciou) alebo sa zlepšia.

Následnej je možné z plechov vytvoriť celý magnetický obvod. Kedysi sa plechy v rohoch preplátovovali, no to prinášalo zhoršenie magnetického toku a zväčšenie strát (tok v rohu „zatáča“ a nesmeroval v ideálnom smere valcovania). Preto sa začalo používať skladanie so šikmým strihom.



Obrázok 18.: Magnetický obvod transformátoru, preplátovanie v rohu.

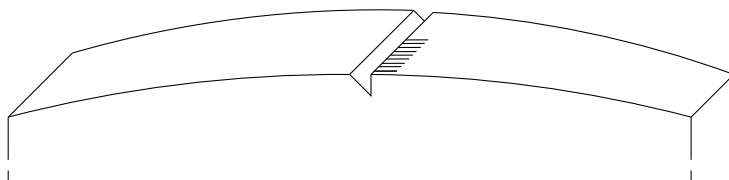


Obrázok 19.: Magnetický obvod transformátoru, šikmý strih.

28. Zostavovanie magnetických obvodov elektrických točivých strojov

Je rozdiel v tom, či ide o veľký alebo malý motor. Je ale treba dodržiavať všeobecné zásady: plechy je treba izolovať, lakovať a sušiť a stiahnuť (skrutkami, pneumaticky, hydraulicky).

Zásadným problémom je presnosť. Drážky vo všetkých vrstvách musia byť na rovnakých pozíciách. Kusová výroba je menej presná než výroba hromadná. Pri hromadnej výrobe je na obvode plechu značka, aby bolo pri skladaní vidieť ako boli plechy pôvodne razené (tak budú drážky nad sebou v najlepšom možnom usporiadaní, v prípade, že nie sú vzdialenosti medzi všetkými drážkami rovnaké, čo často nie sú).

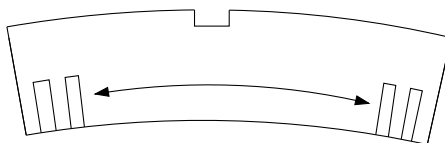


Obrázok 20.: Statorový paket so značkou na obvode.

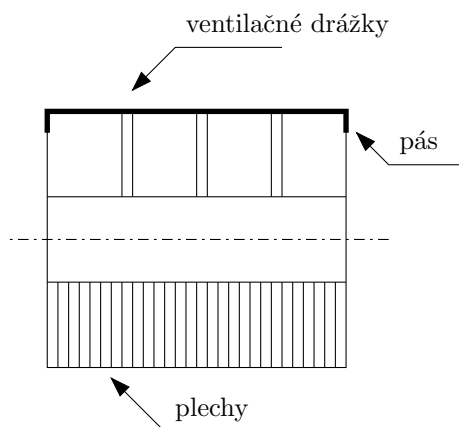
29. Statory z kruhových výliskov

V prípade väčších strojov ide najmä o skladanie v kostre. Ale v prípade malých strojov sa snažíme vytvoriť samonosný paket mimo kostru.

Aby bol paket samonosný, je ho treba nejakým spôsobom stiahnuť na predpísanú silu. Použitie skrutiek by bolo nevhodné a volí sa iný postup. Do vonkajšieho obvodu statoru vytvoríme drážku a vložíme do nej oceľový pás, na koncoch ohnutý. Väčšiu mechanickú pevnosť má *bombírovaný* pás. Skratovanie plechov nie je príliš veľké.



Obrázok 21.: Statorový segment s drážkou pre pás.



Obrázok 22.: Statorový paket s pásom.



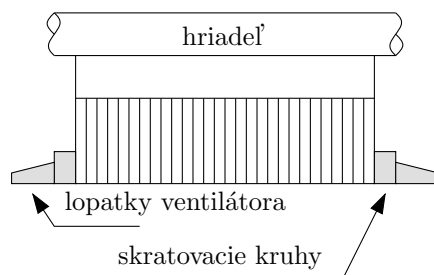
Obrázok 23.: Bombírovaný prierez pásu.

Skladanie mimo kostru je trendom najmä pre malé stroje. Aby boli drážky nad sebou, použijeme pravítka. Často majú tvar drážky, nasadíme ich do troch miest na obvode. Potom plechy hydraulickým lisom stlačíme. Práca s paketom je jednoduchšia pri navíjaní (môže byť automatizované) aj pri impregnácii vinutí.

30. Skladanie rotorov z kruhových výliskov

Rotory s hliníkovými kliečkami (odstreknuté z hliníku, hliník je liaty pod tlakom do formy pri pôsobení odstredivej sily alebo vibrácií, aby sa lepšie usadil) bývajú pootočené so šikmými drážkami, aby bol záber rovnomerný. Všetky tyče sú skratované dvoma skratovacími kruhmi. Na okrajoch sú, odliate z hliníku zároveň s vinutím, lopatky ventilátora (chladenie) a prípadne kolíky na vývažky.

Chladiť je treba aj stator. Medzi plechmi, ktoré sú v nejakom počte naskladané vedľa seba v niekoľkých skupinách, sú malé vzduchové kanáliky — prúdi nimi vzduch a chladí magnetický obvod. Sú realizované pomocou plechov s dištančnými vložkami.



Obrázok 24.: Rotor asynchrónneho motoru so skratovacími krúžkami.

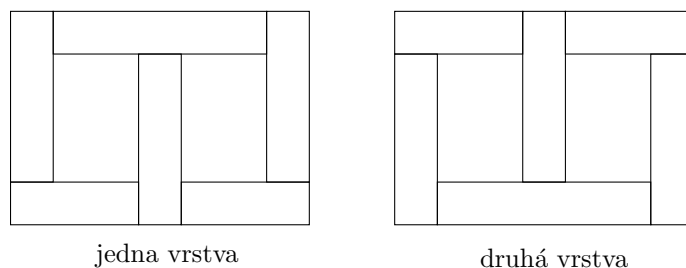
Čelá statorového vinutia majú tvar evolvent a ich dĺžka býva až 1,5 m. Vytvárajú tvar koša a nazývajú sa teda košové vinutia.

31. Skladanie magnetických obvodov transformátorov

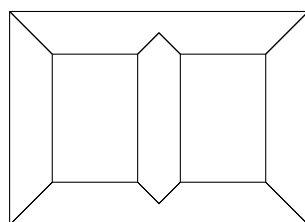
Predpokladajme, že sme prešli fázami nákupu a strihania plechov. Teraz nás čaká fáza skladania. Všetky stredné a veľké transformátory majú orientovaný plech s Gossovou štruktúrou, ide o kvalitné, orientované, kremikové plechy. Sú nastrihané na rovné časti aby boli čo najlepšie využité ich magnetické vlastnosti (aby smer magnetického toku zodpovedal smeru valcovania).

Plechý môžeme skladať *na tupo*. Plechy sú zostrihané kolmo a pri použití orientovaného plechu (mä menšie straty a lepšie sýtenie, preto na magnetické obvody transformátorov používame v podstate len takéto plechy) v rohoch netečie magnetický tok v smere orientácie plechu. Vznikajú takzvané prídavné

straty v rohoch. Zmierňujeme ich tak, že plechy v rohoch striháme pod uhlom 45° a skladajú sa tak, aby plechy na seba dobre zapadali.



Obrázok 25.: Skladanie transformátoru s preplátovaním.

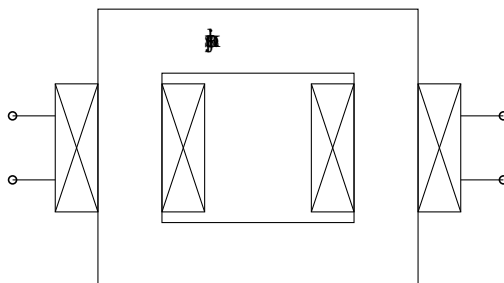


Obrázok 26.: Skladanie transformátoru so šikmým strihom.

32. Postup skladania transformátorov

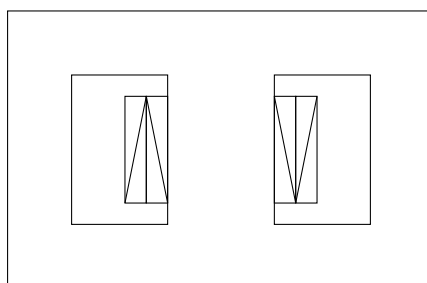
Skladanie malých transformátorov nie je zložité. Väčšinou ide o ručnú prácu. Skladanie by bolo možné aj zautomatizovať, ale robí sa to málokedy.

Vinutia môžu byť na jednej strane magnetického obvodu, ale lepšie vlastnosti má transformátor s vinutiami na oboch stranách.



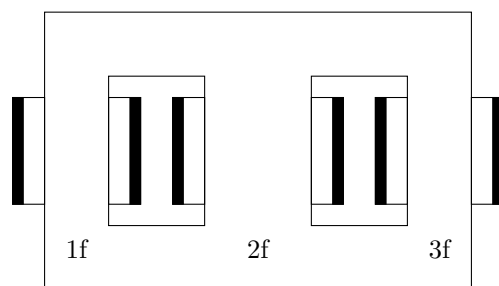
Obrázok 27.: Jednofázový jadrový transformátor.

Jednofázový plášťový transformátor má obe vinutia na strednom stĺpiku (nazýva sa jadro). Dva krajné stĺpiky sa nazývajú spojky. Pretože magnetický tok sa delí do dvoch spojok, môžu byť menšie.

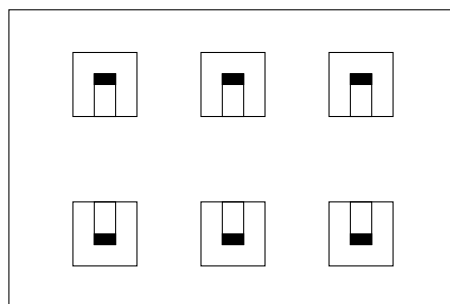


Obrázok 28.: Jednofázový plášťový transformátor.

Trojfázový jadrový transformátor je podobný na jednofázový plášťový, ale tu sú všetky stĺpiky jadrá. Trojfázový plášťový má ešte dva krajné stĺpiky, ktoré slúžia ako spojky (sú s menším prierezom).

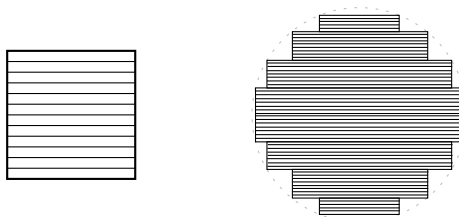


Obrázok 29.: Trojfázový jadrový transformátor.



Obrázok 30.: Trojfázový plášťový transformátor.

Prierez plechov v magnetickom obvode býva štvorcový len v prípade malých transformátorov. V prípade väčších transformátorov býva prierez odstupňovaný tak, aby aspoň trochu pripomínal kružnicu. Zlepšia sa tak vlastnosti magnetického obvodu a činiteľ plnenia, vinutie totiž nie je štvorcové ale kruhové.



Obrázok 31.: Štvorcový a odstupňovaný prierez magnetického obvodu.

Jadro veľkého transformátoru môže mať hmotnosť aj desiatok ton. Musíme počítať s tým, že ho bude treba celé nadvihnúť a podľa toho voliť vhodnú sťahovaciu konštrukciu. Táto sťahovacia konštrukcia bude predpripravená na zemi vo vodorovnej polohe a budeme do nej rovnať jadro, plech po plechu, aj s preplátovaním. Po naskladaní niekoľko centimetrovej vrstvy plechy stlačíme hydraulickými lisami aby si na seba dobre sadli.

Čo s takto naskladanými plechmi? Musia držať spolu a jadro sa nesmie rozpadnúť. Spojky môžeme stiahnuť nejakou konštrukciou so skrutkou (neprechádza cez plech ale vonkajškom). To však nie je možné spraviť v stĺpiku jadra, pretože tam je treba nasadiť vinutie a ak by tam bola nejaká takáto konštrukcia tak to nie je možné. Používa sa teda na to laminátová bandáž. V rôznych častiach stĺpiku sa ovinie páska a musí sa vytvrdiť (podobne ako keby sme robili laminátovú loď). Získame tak asi 5 cm vysokú tvrdú bandáž, ktorá drží plechy pohromade.

Pri sťahovaní plechov skrutkami by magnetický tok musel obchádzať dieru a zvyšovalo by to prídavné straty. Preto sa takéto riešenie používa len vo výnimočných prípadoch.

Teraz chceme na jadro umiestniť vinutie. To ale nejde bez toho, aby sme spojky znova rozobrali. Jeden plech po druhom vytiahneme, nasunieme vinutie tak, aby presne sedelo a plechy založíme naspäť. Je to náročná operácia.

Bzučanie transformátoru, spôsobené vibráciou plechov, by mohlo viesť k lokálnemu ohriatiu a poruche celého transformátoru.

Medzi klasickými plechmi môžu byť aj nejaké špeciálne dištančné. Tvoria kanáliky pre tok chladiaceho oleja. Namiesto dištančných plechov je možné vložiť medzi dva plechy nejaký predmet (tvarom môže pripomínať napríklad magnet na magnetickú tabuľu).

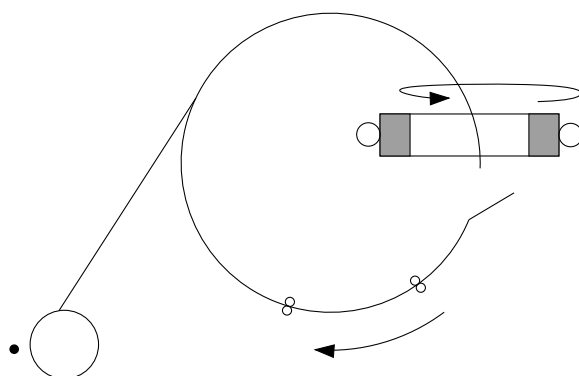
33. Skúšanie magnetického obvodu

Prvé skúšanie magnetického obvodu veľkých transformátorov je ešte pred rozobratím spojok a nasadením vinutia. Na jadro sa ovinie hrubý kábel ktorým sa jadro snažíme nasýtiť na menovitú hodnotu 1,75 T. Popri tom kontrolujeme napríklad či je teplota magnetického obvodu rovnomerná — jednoducho dotykom, alebo termovíziou, či oteplenie je menšie než maximálne dovolené, či sa transformátor nechveje alebo nehučí.

34. Navíjané jadrá

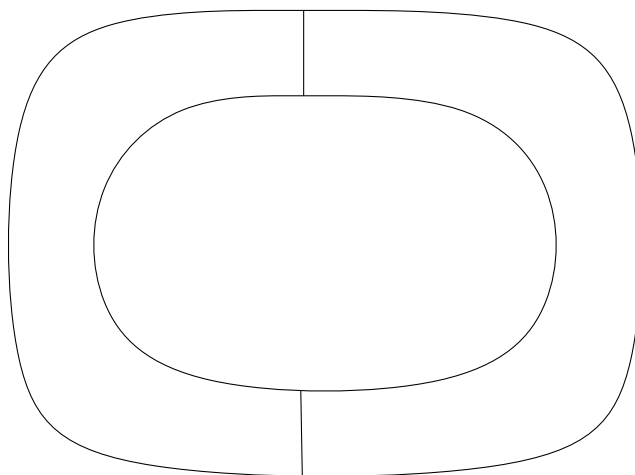
Najlepšie vlastnosti má jadro toroidné. Má takmer ideálny magnetický obvod a malé straty. Pre veľké transformátory (veľká hmotnosť) alebo pre transformátory trojfázové to je ale nevýhodné riešenie.

Toroidné vinutie sa navíja pomocou špeciálnej toroidnej navíjačky. Pripomína koleso z bicykla bez výpletu. V jednom mieste ho je možné otvoriť a presunúť tadiaľ jadro. Navíjačka je uložená na niekoľkých kladkách a môže sa otáčať. Toroidné jadro sa otáča iným smerom a tak sa môže veľmi rovnomerne navinúť vinutie.



Obrázok 32.: Toroidné jadro s toroidnou navíjačkou.

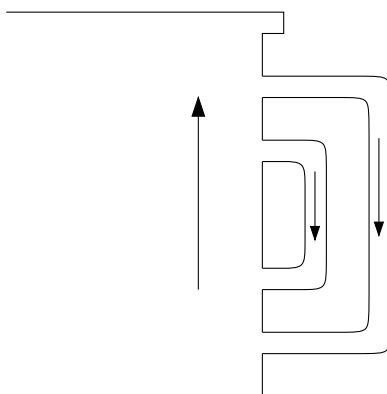
Jadro C je podobné ako toroidné, ale je pretiahnuté. Je rozrezané na dva kusy aby bolo možné jednoducho nasadiť vinutie. Potom ale nie sme schopní oba kusy presne spojiť, plechy by sme takmer naisto skratovali. Hrany rezu preto presne obrúsime a vložíme medzi ne tenkú izoláciu. Vznikne tak medzera v magnetickom obvode, ale aj tak je takáto konštrukcia ešte výhodná.



Obrázok 33.: Jadro typu C.

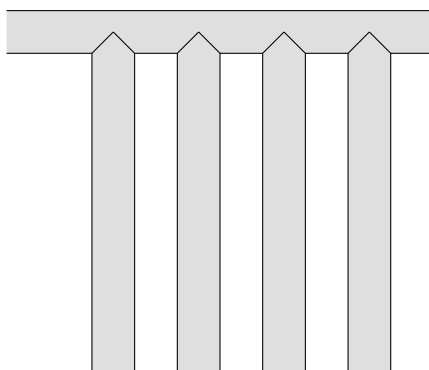
35. Výroba transformátorových nádob

Hranatá nádoba s malou plochou stien sa ťažko chladí. Preto sa na transformátorové nádoby pridávajú radiátory. Ak je transformátor olejový tak nimi preteká olej. Okolo radiátorov prúdi vzduch a transformátor tak účinnejšie chladí.



Obrázok 34.: Transformátor s trubkovými radiátormi.

Ak je transformátor veľký tak sa tieto radiátory vyrábajú oddelene a pomocou príruby sa po vyrobení pripoja. Radiátory sa podľa tvaru nazývajú harfy. Keďže preprava veľkých transformátorov je náročná a nákladná, môžu sa harfy pripojiť až po preprave na miesto určenia.



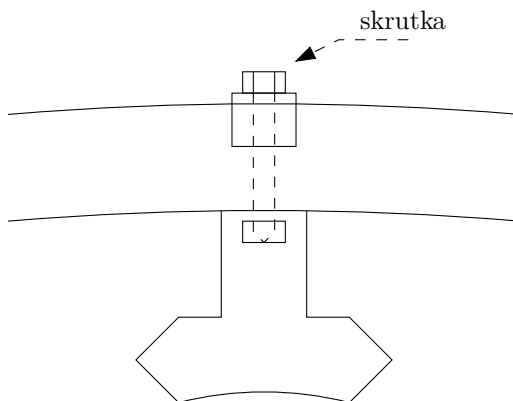
Obrázok 35.: Transformátor s radiátorom v tvare harfy.

Tie najväčšie transformátory majú chladič až niekoľko metrov vzdialený a s transformátorom je spojený trúbkami, ktorými prúdi olej. Chladič má ventilátor ovládaný teplotou oleja (pracovná teplota oleja je okolo 90 °C. Ventilátorov môže byť napríklad 6. Jeden z nich je vždy zastavený a slúži ako rezerva. V prevádzke sa vždy striedajú aby ten jeden rezervný nezatuhol a aby sme mali istotu, že nie je pokazený.

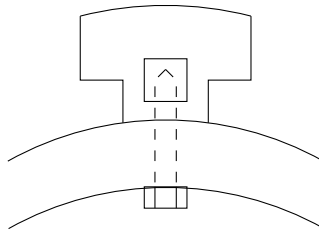
36. Póly jednosmerných strojov

Z čoho sú póly jednosmerných strojov vyrábané a ako sa pripevňujú na stator? Aj zosadenie, aj pripevnenie je rôzne.

Pól by mohol byť masívny, ale výrobne je jednoduchšie ho zložiť z niekoľkých dosiek, ktoré sú stiahnuté. Nasunieme ho do statoru a pre to aby sa nemohol pohnúť ho pripevníme dvojitém klinom, pomocou pneumatického kladiva. Upevnenie býva na rybinu alebo na kladivo.



Obrázok 36.: Pól na statore.



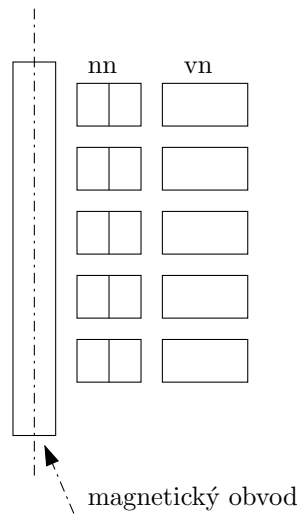
Obrázok 37.: Pól na rotore.

37. Vinutie elektrických strojov netočivých

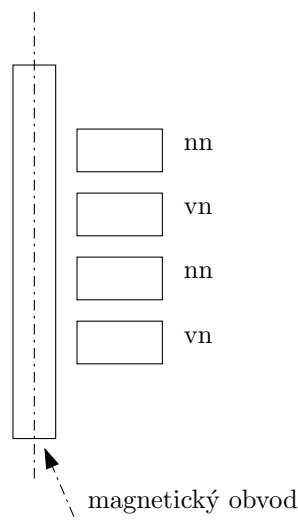
Budeme sa venovať vinutiu, spôsobu jeho výroby a izolácie a to najmä pre väčšie transformátory.

Chyba v magnetickom obvode sa prejaví pri skúške tým, že sa ohrieva.

Na stĺpik chceme nasadiť vinutia. Tie môžu byť sústredné alebo kotúčové. Sústredné vinutie má na stĺpiku nasunuté primárne vinutie a na ňom je nasunuté sekundárne vinutie. Vinutie musíme navinúť na magnetický obvod. Vinutie vysokého napätia dávame na vonkajšiu stranu z dôvodu lepších napäťových pomerov. Málo používané kotúčové vinutie má úplne iný tvar, kotúčové cievky sa striedajú pozdĺž celého stĺpiku magnetického obvodu. Teda na stĺpiku sú nad sebou vinutia primáru, sekundáru, primáru, sekundáru a tak ďalej pozdĺž celého jadra. Kotúčové vinutie sa niekedy nazýva aj doskové alebo prestriedané.

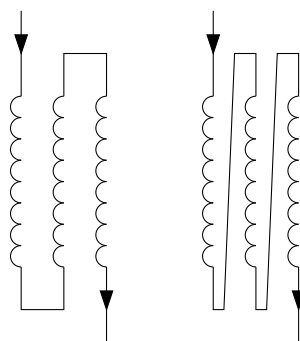


Obrázok 38.: Sústredné vinutie.



Obrázok 39.: Kotúčové vinutie.

Jedno vinutie tvoriace primárnu alebo sekundárnu stranu je možné z technologických alebo napäťových dôvodov rozdeliť na niekoľko sekcií. Tie je potom samozrejme treba spojiť a to nie je jednoduché. Je to teda nevýhoda delenia vinutia na sekcie. Spojka môže viesť pozdĺž celého magnetického obvodu, to je ale náročné na realizáciu. Druhou možnosťou je spojku použiť len na jednej strane, to však prináša problém v tom, že medzi vinutím môže byť napätie dvoch sekcií (nebezpečie prierazu).



Obrázok 40.: Spájanie sekcií vinutí.

38. Štandardné problémy pri navíjaní

Pri zvyšovaní menovitého napätia je potrebné vinutia dôkladnejšie izolovať. Pri náraste prúdu je potrebné používať paralelné vodiče (zabránenie povrchovému efektu) a ešte k tomu je potrebné ich preusporiadať (permutovať). Narastajúci prúd taktiež prináša problém narastajúceho oteplenia a teda potrebu chladenia — niektoré vinutia sú duté a preteká nimi chladiace médium. Taktiež treba myslieť na sily ktoré môžu v transformátore pôsobiť a používať podľa toho vhodné bandáže a sťahovacie konštrukcie.

39. Valcové vinutia

Jadro z magnetického plechu je odstupňované tak, aby pripomínalo kruh. Zlepšuje to plnenie. Jadro musí niečo držať pokope, napríklad laminátová bandáž. Keďže transformátor je veľký, je treba ho účinne chladiť. Aby bolo možné chladiť aj vinutie, je potrebné vytvoriť chladiace kanáliky. Vytvoríme ich tak, že na valec (buď magnetický obvod alebo samotné vinutie) vložíme lišty z tvrdého bukového dreva alebo tvrdenej tkaniny. Lišty priviažeme aby držali a vinutie vinieme cez ne. Vďaka lištám tak vzniknú medzery medzi niekoľkými vrstvami vinutia, nimi prúdi olej a chladí transformátor. Samotné lišty sa nedávajú v jednej osi ale striedavo v rôznych polohách. Drevo má totiž horšie izolačné vlastnosti ako olej a preto chceme vplyv dreva na izolačnú pevnosť minimalizovať.

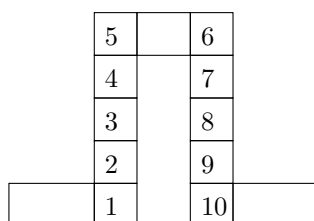
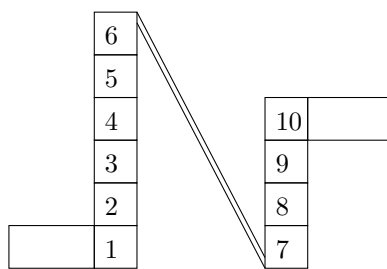
V nejakej vrstve vinutia môžu byť vložené lišty s rybinou. Na ne sa nasunú nejaké vložky ktoré vytvárajú medzeru medzi závitmi vinutia (na výšku).

40. Vinutia na vysoké napätia

Menšie transformátory majú jednoduché cievkové vinutie, pripomínajú cievku s niťou, majú nepárny počet polôh. Dvojcievky majú výhodu v tom, že vývody ležia vonku.

Väčšina vodičov má obdĺžnikový prierez (napríklad 2×12 mm). Pracuje sa s nimi lepšie než s vodičom s prierezom štvorcovým.

Spôsob ako sa vyhnúť spojкам pri veľkých vinutiach spočíva vo voľbe plynulých vinutí. Spočíva to v navínutí a postupnom preusporiadaní jednotlivých závitov.



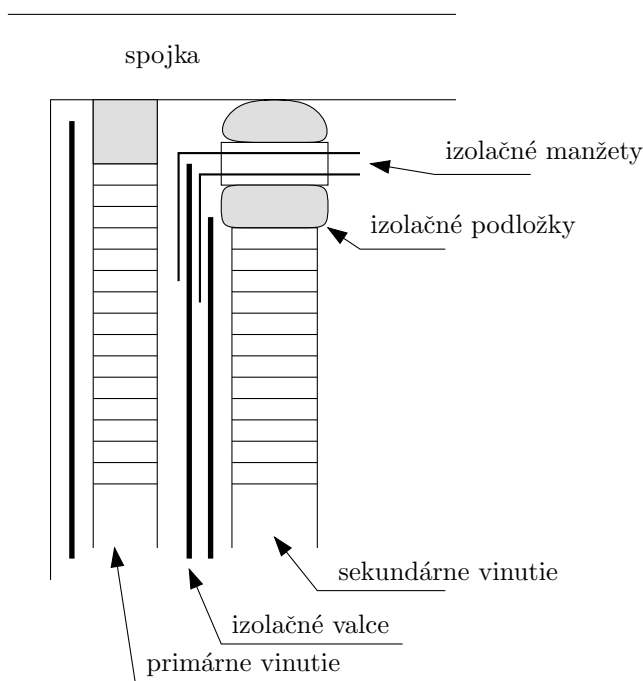
Obrázok 41.: Plynulé vinutie.

Veľké transformátory nemajú jeden závit z jedného drôtu. V jednom by sa totiž indukovali rôzne napätia v rôznych výškach. Preto je ich tam viac, napríklad 5 a v svojej polohe sa postupne striedajú.

41. Izolácia vinutia proti železu

Ak je transformátor olejový tak ním preteká olej a zlepšuje izolačné vlastnosti. Na krajoch ale olej pretekať nemôže a je tam problém s izoláciou. Kraje vysokonapäťových vinutí musia byť robené tak, aby na nich nevznikali výboje — napríklad zaoblením homogenizujeme elektrické pole tak, aby nedochádzalo k sršeniu.

Medzi primárne a sekundárne vinutie vkladáme tvrdé izolačné manžety (tvárom pripomínajú cylinder bez vršku) aby nenastal prieraz.



Obrázok 42.: Izolácia vinutí na krajoch.

Olej je horľavý a preto nemôžu byť niektoré veľké transformátory olejové, napríklad v bani kde je nebezpečné prostredie. V elektrárni sú schopní prípadný požiar uhasiť rýchlo, niekedy majú na to

špeciálnu hasičskú jednotku. Bežne používaný olej je z nafty (minerálny olej). Jeho náhrada syntetickým olejom by bola veľmi drahá. Preto sú aj niektoré väčšie transformátory zalievané.

Takýto transformátor má vinutia zaliate živicom zmiešanou s kremenným pieskom. Vinutie je neopraviteľné. Samozrejme izoláciu medzi jednotlivými závitmi nesmieme vypustiť.

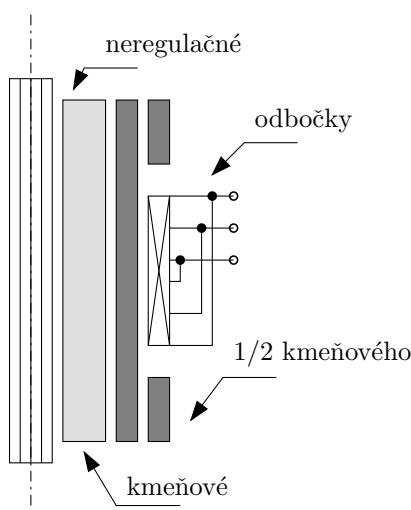
Teplota olejových transformátorov môže byť kvôli vlastnostiam samotného oleja do zhruba 90 °C. Teplota zalievaných transformátorov môže byť až do zhruba 150 °C a preto musí byť izolácia kvalitnejšia — miesto papiera napríklad sklenená tkanina.

Transformátor nemôže mať len dva vývody (dva na primárne a dva na sekundárne vinutie). Na sekundárnom vinutí bývajú odbočky pre $\pm 5\% U_n$. Veľká časť transformátorov má aj regulačné vinutie. Ako ho spraviť? Napríklad kontakt podobne ako posuvný rezistor, ale len pre malé prúdy. Alebo pomocou prepínania odbočiek, pod prúdom alebo bez prúdu, servomotorom.

Všetky regulačné vinutia musia byť spravené tak, aby sa neporušila symetria vinutia (symetria je voči rovine kolmej k magnetickému obvodu). Pri jej porušení by totiž mohli vzniknúť sily, ktoré by sa snažili vinutie roztrhnúť. Preto odbočky robíme tak, že odpájame závit zo stredu vinutia. Potom dostávame dve časti, ktoré vedú prúd: hornú a dolnú.

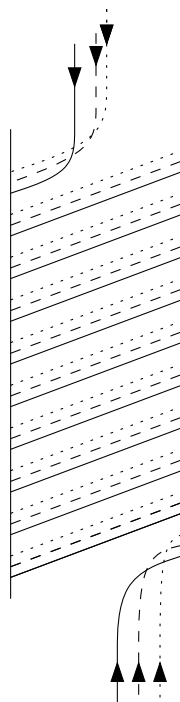
Kmeňové regulačné vinutie predstavuje základ, ktorý bude vždy pod napätím a bude ním tiecť prúd. Regulácia teda nebude od 0 do 100 %, ale od hodnoty určenej týmto vinutím.

Hrubý stupeň je celý jeden valec. Buď ho zapneme alebo vypneme. Budú to ako keby jednotlivé vinutia, ktoré dáme alebo nedáme do série. Môže ich byť viac. Niekedy je možné hrubý stupeň rozdeliť na viac častí, ale vždy musí byť zopnutý alebo vypnutý celý. Nie je možné zapojiť len polovicu — poruší sa symetria.



Obrázok 43.: Kmeňové, hrubé a odbočkové vinutie

Odbočky predstavujú jemné nastavenie. Ako spraviť odbočky aby sme vypojením niekoľkých závitov neporušili symetriu? Niekoľko súbežných vodičov po celej dĺžke vinutia navinieme v tvare špirály. Závitky sú teda vedené paralelne. Celý princíp spočíva v tom, že ak budeme chcieť regulovať tak jeden z tých paralelných vodičov buď zapneme alebo vypneme. Síce tam musia byť dlhé spojky (závitky musia mať začiatok na jednej strane aby nebol výsledný magnetický tok nulový), ale môžeme celkom rozumne pripájať a odpájať odbočky. Spojky môžeme skrátiť tak, že navinieme dve cievky cez seba vinuté opačným smerom (pravotočivá, ľavotočivá). Takýchto paralelných vinutí môže byť aj 10, je treba ich vytvárať ručne.



Obrázok 44.: Paralelne vinuté odbočky.

42. Izolovanie vinutí

Transformátory môžeme rozdeliť na olejové a suché. Ak sa použije olej tak je teplota nižšia (stratil by svoje dobré izolačné vlastnosti). K oleju je možné použiť papier, bavlnu alebo tvrdé drevo (na lišty, podklady, podpierky). Bavlna a papier sú prírodné polyméry (z hľadiska stavby). Veľmi často sa tam používa ešte aj nejaký lak. Hlavnou zložkou konštrukcie je valec z tvrdeného papiera alebo tvrdenej tkaniny (teda bavlna).

Niektoré transformátory sú pred zaliatím do oleja impregnované v polyesterových lakoch. Lak má dôležitú úlohu: spevňuje, lepšie odvádza teplo, zlepšuje elektrické vlastnosti — má lepšiu elektrickú pevnosť. Veľké transformátory sa ale neimpregnujú, impregnácia je totiž finančne nákladná. A kombinácia oleja s papierom má často dostatočnú elektrickú pevnosť.

Ak je teplota izolácie a vodičov vyššia, čo je prípad zalievaných transformátorov, môže byť pri rovnakej veľkosti transformátoru výkon väčší. V elektrárnach problém s miestom nie je, ale sú prevádzky kde je takéto zmenšenie výhodou.

Pri vyšších teplotách potrebujeme ale aj iné materiály (pretože papier, bavlna alebo drevo by takú teplotu zle znášali). Vodič bude ovinutý sklenenou tkaninou. Samotná by nestačila, pretože je porézna. Presýtime ju polyesterovým lakom, ktorý dostatočne dlho znáša vyššiu teplotou. Ak by sme chceli teploty ešte väčšie tak použijeme sklenenú tkaninu impregnovanú silikónovým lakom. Pre veľmi vysoké teploty je možné použiť teflonovú izoláciu, ale je to skôr výnimočný prípad.

Najkritickejším miestom sú vstupné závit, používajú sa tam teda tieniace kruhy.

Medzi iné izolačné komponenty patria napríklad izolačné valce, manžety, prepážky (napríklad medziokružie), kanály (olejové, vzduchové), priechodky. Manžety môžu byť tvrdé, napríklad navinuté na oceľovom prstenci, alebo mäkké (teda nevytvrdené).

43. Montáž transformátorov

V konštrukcii poskladáme transformátorové plechy a stiahneme (sťahovacou konštrukciou spojky, bandážou jadrá). Potom transformátor postavíme (na to slúži tá konštrukcia, je možné ju naklápať) a vrchnú spojku rozoberieme. Na jadrá nasadíme vinutia a izolačné prvky (napríklad izolačné valce). Potom znova poskladáme hornú spojku (je to náročná operácia, plechov je veľa a sú tenké, musia do seba presne zapadať).

Potom musíme skontrolovať napríklad vinutie a jeho prevody, straty transformátoru prípadne jeho oteplenie. Ak vyhovuje namontujeme veko, priechodky a prepojovače.

Suché transformátory impregnujeme. V prípade malých transformátorov zvlášť vinutia a zvlášť celý transformátor, v prípade transformátorov veľkých impregnujeme dva krát vinutia.

Olejové transformátory plníme olejom. Veľké transformátory často až tam, kde budú zabudované. Jedným z dôvodov je jednoduchšia preprava transformátoru bez oleja (olej má veľkú hmotnosť). Po vysušení transformátoru (teplým vzduchom, vákuové, v parách kerosínu) v továrni sa celý umiestni do hermeticky uzatvorenej nádoby a naplní sa s pretlakom oxidom uhličitým alebo dusíkom. Potom sa začne plniť olejom (v továrni alebo na mieste určenia). Olej musí byť zbavený vlhkosti (suchý), nečistôt a plynov. Ak olej nemá dostatočné izolačné vlastnosti (skúška elektrickej pevnosti) použijeme sušičku a pokúsime sa ho regenerovať. Oleja napúšťame toľko, aby sa jeho hladina dostala až do kondenzátoru. Kondenzátor umožňuje dilatáciu oleja pri zmene jeho teploty. V kondenzátore je fólia respektíve blana ktorá zabraňuje oleju styk so vzduchom.

Podľa noriem a technických podmienok prebiehajú skúšky transformátorov kusové alebo prototypové. Medzi zásadné skúšky patrí napríklad meranie naprázdno a nakrátko, tepelné skúšky, skúšky indukovaným napätím a priloženým rázovým napätím.

44. Izolačné systémy

Izolačné systémy sa značne zmenili, preto je na adrese

<http://martin.feld.cvut.cz/~petr/Izolsyst.pdf> spracovaný text rešpektujúci systémy používané v súčasnosti.

45. Vinutia statorov striedavých elektrických strojov

Prechádzame k točivým strojom a ich vinutiam. Je to dosť špecifická záležitosť a je vhodné uviesť si o akú škálu pôjde.

Jednosmerné vinutia budú mať vinutia na póloch a vinutie kotvy s komutátorom. To je jeden systém.

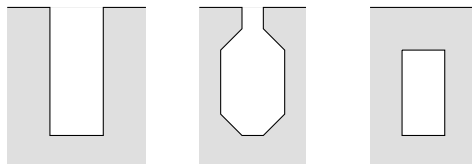
V prípade striedavých strojov pôjde o synchronné a asynchronné.

Synchronné stroje budú mať na statore striedavé vinutie, tak trochu podobné vinutiu v kotve jednosmerného stroja. Na rotore budú vinuté póly, alebo v prípade veľkých strojov, to budú dva hladké póly na výkovku s priemerom okolo 1 m (z dôvodu odstredivých síl) — turbolaternátory, kompenzátory účinníku. Vinutie v rotore bude veľmi komplikované. Bude chladené vodíkom, vodík bude prefukovať rotorovým vinutím, cez vodiče. Stator bude tiež prefukovaný vodíkom, nie vodičmi ale medzerami medzi statorovými paketmi. Deionizovaná voda bude pretekať trubicami. Bude pod napätím a niekde sa tam bude nachádzať aj chladič. Aby to bolo ešte viac komplikované, medené vodiče budú rozdelené na niekoľko častí (snaha minimalizovať vplyv vírivých prúdov), napríklad 24. Pritom každý štvrtý bude dutý a bude ním pretekať voda. Ale to nie je všetko: tieto vodiče je potrebné stočiť podobne ako cop (samotným rozdelením by sme si príliš nepomohli, uplatňoval by sa povrchový jav).

V prípade asynchronných motorov bude stator rovnaký ako pre synchronný stroj. Rotor ale bude mať vinutie nakrátko alebo vinutie vyvedené na krúžky. Ak bude kotva nakrátko tak bude pod tlakom odstrekovaná z hliníku (spolu s lopatkami chladiacich ventilátorov). Ak bude kotva vinutá tak pôjde o zložitejší postup.

Drážky majú nejaký vhodný tvar aby sme do nich dokázali rozumne vložiť vinutie. Medzi základné varianty patria drážky otvorené, polootvorené a uzatvorené. Najčastejšie sú drážky polootvorené, do nich môžeme otvorom jedno po druhom vkladať vinutia. V prípade otvorenej drážky je otvor široký ako samotná drážka, nebude zúžený.

Otvorená drážka je pri otvore prispôbena tomu aby bolo možné do nej zasunúť klin a vinutie v drážke upevniť.



Obrázok 45.: Tvary drážiek — otvorená, polootvorená a uzatvorená.

Prečo to celé takto zdanlivo komplikujeme? Veď by sme mohli všetky drážky spraviť otvorené a vinutie tam jednoducho vložiť. To by ale nebolo výhodné, pretože by to narušovalo magnetický obvod. Ideálne by teda bolo, ak by tá medzera vôbec nebola (teda ak by sme použili uzatvorené drážky). To

však v prípade veľkých strojov nie je možné spraviť, napríklad vinutie turborotora by sme do takejto drážky vložiť nemohli.

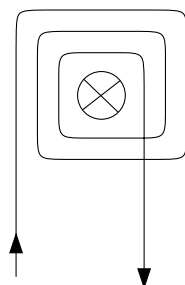
Vinutie môže byť radiálne (ak ho vkladáme „z hora dole“) alebo axiálne (ak ho vkladáme „z predu do zadu“).

Vinutie môže do drážky vkladať človek (závit po závite), ale to by bolo príliš pomalé a drahé. Vinutie dostáva tvar po vložení do drážky. Pri profilových vodičoch platí, že sú vopred navinuté a vytvarované. Do drážky sa vkladajú podobne, ale majú väčší prierez a manipulácia s nimi môže byť mierne náročnejšia.

Vinutie má často dve vrstvy — hornú a spodnú. Každá vrstva patrí inej cievke. Najprv vložíme do drážky spodnú vrstvu a na ňu položíme vrchnú.

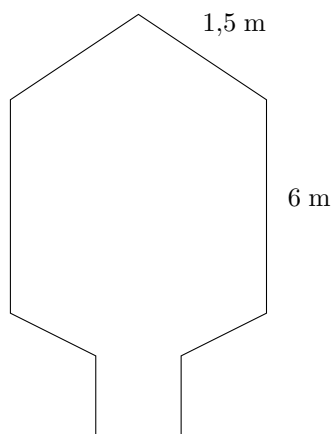
Cievky vinutí sú riešené rôzne. Majú rôzne dĺžky — od veľkosti kuchynského mixéru až po turboalternátor, ktorý môže mať až 8 m. Cievka a cievka teda môže byť veľký rozdiel.

Čo to je sústredné vinutie? Je to také, kde jedna cievka je navinutá na druhej, majú rovnakú os a priemer sa z vnútra von zväčšuje.

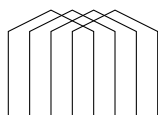


Obrázok 46.: Sústredné vinutie.

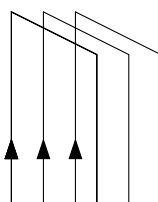
Ak je vinutie z mäkkého vodiča kruhového prierezu tak sa čelá vinutí musia dotvárať a spevniť. V prípade statoru by síce nepôsobili odstredivé sily, ale nespevnené vinutie by sa mohlo poškodiť.



Obrázok 47.: Jeden závit vinutia.



Obrázok 48.: Plynulé vinutie, všetky cievky sú rovnaké.



Obrázok 49.: Možný tvar čiel vinutí.

46. Vinutia menších strojov

Za menšie stroje považujeme tie s výkonom do zhruba 500 kW. Pre napätie do zhruba 1 kV je vinutie tvorené kruhovým vodičom s priemerom do 2 mm. Vinutie je vsypávané, využitie drážky je menšie, napätie medzi závitmi nie je definované (jednotlivé vodiče sa usporiadajú viacmenej náhodne). Predstavuje ale menšie výrobné náklady. Pre napätia nad 1 kV je možné vsypávať aj profilové vodiče.

Charakterom výroby pôjde skôr o hromadnú a použijeme automatické navíjacie stroje. Najčastejšie pôjde o asynchrónne motory s produkciou napríklad 100–500 kusov denne.

Niekedy sa z politických a finančných dôvodov vyrábali motory aj z hliníku. Hliník má však horšie elektrické vlastnosti a pri rovnakých rozmeroch mal taký motor menší výkon. Na to, aby bol výkon rovnaký, sa musel hliníkový motor spraviť dlhší.

47. Postup výroby vinutí

Vinutie točivého stroja sa bude robiť na šablóne. Čo to je taká šablóna? Konštrukčný prvok, ktorý si môžeme predstaviť ako cievku (podobné ako na niž). Bude z dreva, laminátu alebo podobného materiálu. Na šablónu navinieme cievku ktorú chceme vyrobiť, takto ju dopredu vytvorím. Aj mäkkú (z tenkých vodičov), aj tú tvrdú (z profilových vodičov). Cievky to budú rôzne, často rôzne tvarované.

Potom je potreba takúto cievku roztiahnuť. Rovné časti vinutia sa uchopia a ťahajú. Pri tom ale chceme vytvárať aj hlavu vinutia. Požadujeme, aby bola „pekná“ alebo aspoň symetrická. Na to použijeme svorku, ktorá ju podrží v požadovanej polohe.

Niekedy sa cievka tvaruje aj hydraulicky. Stroj na to určený cievku sám roztiahne a vytvára.

Vinutie malých strojov je robené z vodiča kruhového prierezu. Typické je, že ide o medený vodič s prierezom do 2 mm izolovaný polyesterovým lakom. To znamená, že má na sebe závitovú izoláciu. Medzizávitová izolácia je daná dvoma týmito vrstvami laku (keď sa dva vodiče dotýkajú tak každý „prispeje tou svojou vrstvou“). Je to typické pre statory asynchrónnych strojov. Vrávi nám to, že takmer s istotou budú drážky poloortvorené so zúženým otvorom.

Cievky musíme do drážok nejakým spôsobom vložiť. Predpokladajme, že sme sicievky dopredu navinuli. Cievka bude v tvare obdĺžnika s dvoma vývodmi. Takýchto sústredných cievok budeme mať napríklad 20. Nemôžeme ich dať dole zo šablóny, rozpadli by sa. Preto ich previazeme, napríklad bavlnenou tkaninou. Potom ich vezme robotník, rozviaže a jeden vodič po druhom ich bude vkladať do poloortvorenej drážky. Začne spodnými vrstvami. Keď budú všetky spodné cievky v drážkach tak začne do drážok vkladať aj horné vrstvy, ktoré doteraz trčali. Nakoniec do drážok zasunie kliny.

Takto by sme to spravili ručne, ale pretože by to bolo veľmi náročné, používame navíjacie stroje. Ručná práca sa uplatňuje viacmenej len pri opravách.

Navíjací stroj môže fungovať aj tak, že má akúsi robotickú ruku, ktorá vinutie všiva do drážok. Nie je to častý spôsob, ale jeden z možných. Snažíme sa pri tom, aby sme mali stator asynchrónneho stroja mali bez kostry — je tak s ním lepšia manipulácia.

Ďalší možný spôsob spočíva v použití navíjacieho stroja na ktorom sa navinú sústredné cievky. Sú navinuté na akýchsi oceľových prstoch — formách. Stroj navinutú cievku z týchto foriem stiahne a na pomocnom zariadení preniesie cievku k paketu. Položí ju tam tak šikovo, až sa celá cievka vtiahne do drážok — v pomocných zariadeniach sú špeciálne držiaky, ktoré tomu napomáhajú. Potom sa navinie ďalšia vrstva, zoberie sa z navíjačky a do drážok sa vtiahne aj tá.

Ako zabezpečíme to, aby sa pri takejto manipulácii neodrel z vinutia lak? Pri tom vťahovaní je v drážke umiestnené korýtko. Je to takzvaná drážková izolácia (izolácia fáze oproti zemi). Je tvorená rôzne, môže tam byť nastriekaný nejaký polyamid, môže tam byť polyesterová fólia a na nej naplátovaná rohož z polyesterovej tkaniny. Z takéhoto materiálu vystrihneme obdĺžnik a v špeciálnom zariadení vytvárame korýtko. Ono to je mäkké, takže sa dá dobre ohýbať. Takto pripravené korýtko nejakým strojom vložíme do drážok. Čo bude s korýtkami po vložení všetkých vinutí? Zaklopíme ich a nad ne zarazíme kliny. Komplikácia môže byť v tom, že medzi spodnou a hornou vrstvou je ešte jedna izolácia.

48. Vinutia väčších elektrických strojov

Určite budú na vyššie napätia, aspoň 6–24 kV združeného napätia. Prečo sa nepoužívajú napätia vyššie? Vyžadovali by veľmi zložitý izolačný systém.

Tu korytka už väčšinou nebudú, izolácia bude na cievke a drážky budú väčšinou otvorené. Izolácia bude z nejakého pevného materiálu (často kombinácia sľudy, sklenenej tkaniny a epoxidu alebo polyesteru).

Takáto cievka bude dlhá a ťažká. Je treba dávať pozor pri jej prenášaní, pretože prípadný priehyb by mohol poškodiť izoláciu.

Pri výrobe rešpektujeme niektoré zásady: vinutia pre vyššie napätia vytvárame z profilového vodiča a cievku vytvarujeme dopredu. Bude mať závitovú izoláciu nie len z laku (to by bolo veľmi málo). Ak bude závitov viac, bude medzizávitová izolácia väčšinou zo sklenenej tkaniny. To väčšinou nestačí, takže je tkanina omotaná s prekrytím a impregnovaná lakom, väčšinou na bázi polyesteru.

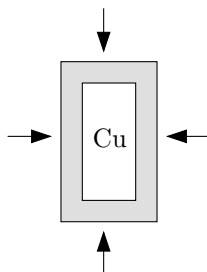
Pri pohľade na stator z hora sú čelá a hlavy ohnuté a zdvihnuté — majú totiž vytvárať kôš, takzvané košové vinutie. V prípade malých strojov to tak nebude, vinutie tam bude mäkké.

49. Postup výroby vinutí s nespojitou izoláciou

Pôjde o vytváranie drážkovej izolácie na cievky, ktorých šírka môže byť aj 5 m. Nedá sa vytvoriť dopredu, ale až keď je cievka vytvarovaná a má vyhnuté čelá. Výroba je náročná a finančne nákladná.

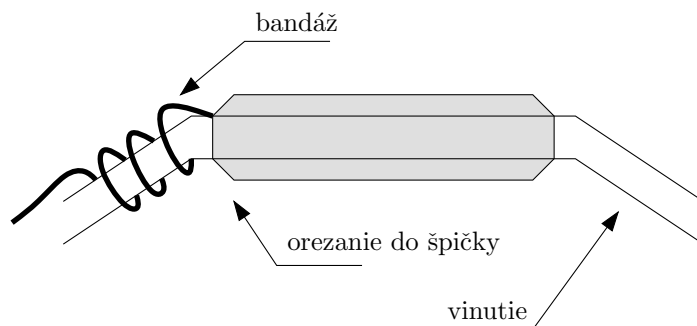
Čo znamená, že izolácia je nespojitá? Nespojitosť je v tom, že sa najprv robí izolácia drážková a až potom izolácia čiel a hláv. Drážková izolácia nekončí tam kde končí drážka, ale je mierne dlhšia, pretiahnutá. Ide o naniesenie hlavnej drážkovej izolácie, robí sa vo vyhrievaných lisoch alebo separácii. Cievku aj s izoláciou vložíme do formy v ktorej prebehne vytvrdenie. Nároky na formu sú veľmi vysoké, môže mať dĺžku až 12 m a musí byť presne vybrúsená. Separácia slúži na to, aby sme mohli cievku z formy po vytvrdení vybrať (podobne ako pri pečení koláčov vytrieť formu). Takto vytvrdíme len tú časť vinutia ktorá bude v drážke. Forma teda môže byť rovná, čo je jednoduchšie.

Hrúbku izolácie volíme podľa veľkosti napätia. Obvykle býva jednostranná hrúbka izolácie do 8 mm. Celá izolácia má vlastne tvar hranatej trubky. Ako ju vytvárame? Vezmeme list izolácie (sklenené vlákno, sľuda, ...) a točením ju nabalíme na vinutie. Pri tom ju musíme napínať. Takto pripravené vinutie vložíme do lisu. Problém ale je, že izolácia je obdĺžniková, lis musí tlačiť zo všetkých štyroch strán. Vyrobiť lis ktorý by to dokázal, pri takej dĺžke, je náročné — musí byť veľmi presný.



Obrázok 50.: Prierez vinutím s lisovanou izoláciou.

Na koncoch tejto rovnej časti vinutí musíme izoláciu orezať do špičky, vytvoriť kónusy. Začneme tam totiž ovíjať čelá a bez orezania by bol medzi oboma časťami izolácie veľmi zlý prechod.



Obrázok 51.: Izolácia vinutia, časť v drážke a ovinuté čelá.

Cievka leží na nejakej podložke a niekto ju ovíja — buď ručne, alebo pomocou malého stroju (robota). Mierne problematické ovíjanie je v oblasti čiel, tam musí robotník stroju pomôcť. Páska ktorou vinutie

ovíjame je zo savého materiálu (aby sala lak pri impregnácii). Jej šírka môže byť napríklad 2 cm. Počet závitov má byť taký, aby bola hrúbka izolácie na čelách a na rovnej časti približne rovnaká (a pretože izolácia na čelách má menšiu elektrickú pevnosť môže byť aj hrubšia).

Zároveň by sme chceli, aby izolácia bola čo najtenšia — tak by bolo plnenie drážok najlepšie. Žiadna izolácia ale nie je dokonalá a preto musíme ale voliť kompromis medzi plnením drážok a izolačnými vlastnosťami.

V prípade vysokonapäťových potierame časť izolácie v drážke grafitovm náterom. Čím vyššie je napätie, tým menšie prúdy tečú (to je dobré), ale izolácia musí byť oveľa lepšia. Ak by sme do drážky vložili vinutie (zaklepali gumovým kladivom tak, aby tam čo najlepšie sedelo) bez grafitového náteru tak by sa mohlo stať, že medzi vinutím a statorovými plechmi by dochádzalo k čiastočným výbojom (v ideálnom stave by vinutie a drážka mali taký tvar, že by dokonalo zapadali; ale aj ak sa snažíme nikdy sa nám to nepodarí a medzi drážkou a izoláciou vzniknú vzduchové bublinky). Izoláciu by tak mohli postupne „rozožrať“, podobne ako keby ich okusovala myš. Grafitovým náterom tomuto zabránime, pretože sa tak izolácia a plechy dostanú na rovnaký potenciál.

Grafit má elektrickú vodivosť niekde na pomedzí izolantu a vodiča — nie je to čistý vodič, ale ani izolant.

Tieto nátery sa niekedy robia aj s odstupňovaním vodivosti pri konci drážky — zlepšuje sa tak gradient prechodu.

50. Postup výroby vinutia so spojitou izoláciou

V prípade spojitej izolácia celé vinutie dokola ovíjame páskou, aj v rovnej časti ktorú vložíme do drážky. Táto páska nebude v jednej vrstve, ale bude s prekrytím (polovičným alebo tretinovým). Páska býva vyrobená z sklenenej tkaniny, sludy a epoxidovej živice.

Je niekoľko ciest ako takúto izoláciu spraviť. Môžeme celé vinutie ovíjať páskou. Cievka leží (veľkosti sú rôzne, tie najväčšie až niekoľko metrov) na nejakej podložke a robotníci ju ovíjajú. Pre zjednodušenie práce používajú navíjací strojček (vedú ho), ktorý s presným prekrytím ovinie celé vinutie. Na jednom vinutí môžu pracovať napríklad traja robotníci s troma strojčkami, šetria tak čas.

Ak má cievka jeden závit, tak má len jednu hlavu (druhá by vznikla až pri väčšom počte závitov). Cievky sa niekedy vytvárajú ako polovice a spájajú sa až v stroji. Pretože budú polovičné, nazývajú sa „polcievka“ alebo tyč. Ich čelá majú tvar evolventy.

Cievky pri navíjaní visia na niekoľkých závesoch. Musia byť odopínateľné, aby robotníci mohli pozdĺž celého vinutia omotať izolačnú pásku.

Pomocný strojček na omotávanie má kolieska podobné tým na kolieskových korčuliach. Tento strojček sa vedie sám, ručne by sme nevedeli dodržať presne stanovený posun. Ručné držanie je teda len pomocné, neriadi prekryv.

Páska ktorou vinutie ovíjame je z porézneho savého materiálu. Je to výhodné pri impregnácii — čím sú póry menšie, tým lepšie nasáva impregnant.

Táto metóda so spojitou izoláciou nebude tak presná ako v prípade nespojitej izolácie. Vinutie bude síce v drážke sedieť, ale nevyplní ju tak dobre. Je to nevýhoda tejto metódy. Zlepšenie môžeme dosiahnuť, ak vinutie ovinieme takou páskou ktorú môžeme následne zlisovať.

Takto pripravené izolované vinutie je treba zasadiť do statoru. Väčšinou ide o ručnú prácu, automatický stroj by bol príliš komplikovaný. Do drážky, celkom logicky, treba vložiť najprv spodnú a potom hornú vrstvu vinutia. Pri práci musí byť robotník opatrný, aby cievku (a hlavne jej izoláciu) nepoškodil. Taktiež je potrebné dávať pozor na to, aby sa cievka neprehla. Izolácia by totiž mohla popraskať a to by malo veľmi zlé následky na kvalitu.

Vytvorili sme teda polcievky a zasadili ich do statoru. Hlavy ale potrebujeme nejak spojiť, ako na to? Aby to nebolo jednoduché, jeden „vodič“ cievky je tvorený z viacerých paralelných vodičov, prierez je napríklad 2 × 6 cm. V mieste hlavy sa stretnú dva takéto konce a je potrebné ich spojiť. Ďalší problém predstavujú vodiče, ktoré sú duté a preteká nimi chladiaca tekutina. Mohli by sme ku každej hlave pripojiť dlhú hadicu. To by bolo ale značne nepraktické. Preto na hlavy pripojíme zberacie kruhy (niečo podobné ako gymnastická obruč). Sú tam dva, hlavy sú do nich zapojené striedavo tak, aby kvapalina tiekla v každej drážke opačným smerom — aby neboli vinutia na jednej strane horúce a na druhej strane chladné.

51. Tyčové vinutia

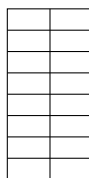
Ide o Roeblove tyče. Môžeme ich vidieť zhruba v 90 % alternátorov a kompenzátorov účinníku. Sú väčšinou dvojpolové stroje, s 3000 ot/min pri frekvencii 50 Hz, a cievky v nich mávajú jeden závit. Výroba je založená na dvoch tyčiach a obe budú Roeblove. Celá výroba je komplikovaná tým, že pri veľkých výkonoch vychádza veľký priemer.

Roeblove tyče nie sú majetok pána Roebľa, sú po ňom iba pomenované.

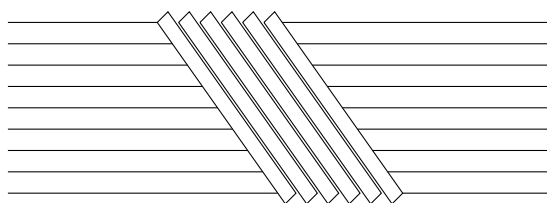
Ak by sme vinutie vytvorili z jedného medeného výkovku tak by sa v každej hĺbke indukovalo iné napätie. Vinutie teda musíme deliť, podobne ako v transformátoroch (presmykané vinutie). V prípade transformátorov však bol relatívne dostatočný priestor. Prehadzovanie jednotlivých paralelných častí vinutia je v prípade točivých strojov ale veľmi náročné — drážka je úzka a dlhá. Je to komplikované a jedno z mnohých riešení našiel práve Roebel.

Jedna cievka je delená na dve polcievky. Obe vyrobíme oddelene a potom ich navzájom „zapletieme“. Prestriedavanie je našťastie potrebné robiť len v tej časti, ktorá zapadne do drážky — tam, kde je cievka mimo magnetického obvodu už prestriedanie nie je potrebné, tam sa napätie neindukuje.

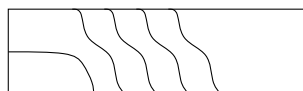
Vrchný pás vedieme dole, tam sa posunie na stranu (buď doprava alebo doľava) a smeruje hore. Horná a spodná strana celej takto zvinutej cievky je „hrbolatá“ a vznikajú tam medzery kde by sa mohol dostať vzduch. Preto cievku zagitujeme tak, aby bola rovná.



Obrázok 52.: Roeblove vinutie z predu.



Obrázok 53.: Roeblove vinutie z boku.



Obrázok 54.: Roeblove vinutie z hora/dola.

Ako dve časti tejto cievky skladáme? Pripravené vodiče (napríklad 20 kusov) narežeme a položíme na stôl. Potom na nich musíme dopredu spraviť „výhybky“. Budeme brať jeden vodič za druhým a podľa pripraveného plánu na nich robiť výhybky. Potom ich robotník polovicu zoberie a spletie jednu štvrtinu — celá Roeblova tyč by nešla vytvoriť naraz. Potom spletie aj druhú polovicu a nakoniec oba tieto kusy spojí dohromady. Takýchto tyčí bude v jednom stroji napríklad 200 až 400.

Izolovať Roeblove tyče je možné až po ich spletení. To je trochu problém. Izolačné pásky niekedy zašupávame z boku (ide o tie malé vodiče, ktoré skladáme). Náročnejšie je dostať izoláciu medzi dve polovice Roeblovej tyče.

Vlastnosťou Roeblových tyčí je to, že umožňujú prestriedať delené vinutie v malom priestore drážky. Výsledkom je jedna tyč zložená z dvoch častí. Izolácia medzi týmito časťami sa vkladá väčšinou až po ich zložení z boku.

Toto cyklovanie prebieha len v dĺžke drážky, čelo je evolventné a už sa v ňom vodič nepreplieťa. Na konci sa dve polcievky (na jednej strane, na druhej to ide do inej) vodivo spoja — spájkovanie alebo zváranie. Niektoré vodiče sú duté a preteká nimi chladiaca, deionizovaná destilovaná voda. V hlave idú všetky vodiče do nejakej krabice, kde sa voda zbiera a odtéka do zberných kruhov. Aby nebola jedna strana teplá a druhá studená sú kruhy dva na oboch stranách — do jedného je odvádzaná voda z každej druhej tyče a v susedných drážkach tečie voda opačným smerom.

52. Poznámky k tyčovým vinutiam

Pri tepelnom namáhaní a dilatácii môže dôjsť k odtrhnutiu izolácie. Problémom môže byť prechod z drážkovej časti do časti evolventnej, riešením je odstupňovaný náter grafitovým lakom.

Trendom je používanie suchej pásky, vákuová respektíve vákuovo tlaková impregnácia, použitie bezrozpúšadlovej živice, strojné navíjanie.

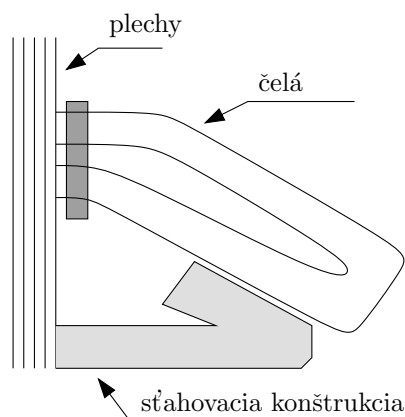
53. Ochrana proti dutinovým výbojom

Vznikajú starnutím izolácie. Najčastejšie vo vzduchových dutinkách v izolácii, ale niekedy aj na jej povrchu medzi vinutím — oizolovanou tyčou a železom. Medzi izolantom a železom nie je dotyk ideálny na celej ploche a môžu tam vznikáť výboje. Aby v izolácii neboli dutinky tak ju môžeme zlisovať alebo impregnovať. Alebo izoláciu po celej dĺžke potrieme až ku kraju drážky (s presahom 1–2 dm grafitovým lakom). Grafit po uschnutí nie je ideálne vodivý, jeho vodivosť sa pohybuje niekde medzi vodivosťou vodiča a izolantu. Takto dosiahneme to, že izolácia a kostra budú na rovnakej napäťovej hladine a výboje nebudú mať dôvod vzniknúť. V prípade vysokonapäťových strojov budú takéto grafitové laky použité takmer vždy, pri výstupe z drážky s odstupňovanou vodivosťou pre zlepšenie vlastností elektrického pola.

54. Montáž vinutí

Vinutia bývajú najčastejšie dvojvrstvé, preto do drážky vložíme najprv spodnú a potom hornú vrstvu. Tyč do drážky nezapadne sama, musíme ju tam zatlačiť — zaklepaním gumovým kladivom. Vinutie v drážke nemôže byť voľne uložené, vibrovalo by a to by bolo nevhodné pre magnetický obvod.

Ak sa izolácia časom zmenší (scvrkne sa) tak je potreba vinutie zaklíňovať. A to nie je žiadna sranda. Uvoľnenie je možné merať aj zvukovo aj elektricky.



Obrázok 55.: Vystuženie kolmých čiel vinutí. Úvaz na spodok.

Čelá sú v tvare evolventy. Je to kvôli tomu aby medzery medzi čelami vedľa seba boli všade rovnaké (toto spĺňa len evolventný tvar). Vinutia tak vytvoria tvar koša a preto sa takéto vinutie nazýva košové.

Čelá sú pomocou sklenenej pásky priviazané k spevňovacej konštrukcii. Ak potrebujeme vymeniť jednu cievku tak sa to všetko musí vystrihať (sklenená páska), rozviazať, vymeniť cievku a vložiť tam novú. Je to náročná operácia, na prácu aj na čas.

Celkovo ide o náročnú operáciu a montáž niekedy trvá aj niekoľko týždňov.

55. Izolačné systémy

Ide o krátky výťah z materiálu na web stránkach predmetu.

Teplotné triedy izolačných materiálov sa už neznačia písmenom. Je to trieda materiálu a určuje maximálnu teplotu (nie oteplenie).

Olejové transformátory pracujú pri teplote najviac do 90 °C — vtedy by izolácia mala vydržať po celú dobu života (olej musí samozrejme byť udržiavaný). Doba života je napríklad 15 rokov.

Dnes väčšina veľkých strojov pracuje v triede 155. Vyššie teploty majú často železničné stroje v trakcii. Je to preto, lebo pri vyššej teplotnej triede a pri zachovaní veľkosti stroja je ich výkon vyšší. Ak transformátory nie sú olejové tak sa ich snažíme dostať na vyššiu triedu — pri rovnakých rozmeroch dostaneme lepší výkon. Aby sme si dokázali predstaviť aký to je skok: ak stroj s triedou 130 presunieme na triedu 180, tak výkon stúpne z 600 kW na 800 kW (príklad trakčných strojov).

V izolačných systémoch transformátorov sa používa aramidový papier. Je šedo biely, ako keby porézny (ide o zlisovanú rohož zo sklenenej tkaniny a polyimidov).

V prípade zalievaných transformátorov (s výkonom zhruba do 35 MVA) ide o tenkú zálievku epoxidom a o sklenenú tkaninu. Teplotná trieda býva najčastejšie 155, je snaha takéto transformátory dostať na vyššie výkony.

V prípade olejových transformátorov olej spĺňa funkciu odvodu tepla, zlepšenia izolačných vlastností a spevnenia izolácie.

Čo do počtu kusov, je na svete vyrábaných najviac asynchrónnych strojov na malé napätie (400 V). Ako izolácia je častá kombinácia rohože z aramidového papiera a z polyetyléntereftalátu. Prípadne kombinácia hrubej rohože z polyesteru (z polyesterových vlákien) a na nej priplátovaný polyetyléntereftalát. Je to jeden materiál ale dve formy: fólia, rohož.

Prečo nespravíme celú izoláciu z fólie? Je to pre to, aby vinutie dobre sedelo v drážke. Fólia má dobré elektrické vlastnosti a tenká rohož vinutie drží mechanicky.

Ako izolačný systém pre vysokonapäťové točivé stroje sa používa napríklad systém resin-rich. Izolácia sa vytvára z trojzložkového kompozitu, zo sklenenej tkaniny, sľudového papiera a epoxidu (alebo polyesteru). Polovicu cievky dáme do kovovej vyhrievanej formy a pomocou hydrauliky rovnomerne tlačíme po celej dĺžke poltyče — izoláciu je treba zlisovať do presného tvaru obdĺžniku. Táto izolácia je veľmi kompaktná a „tvrdá ako betón.“

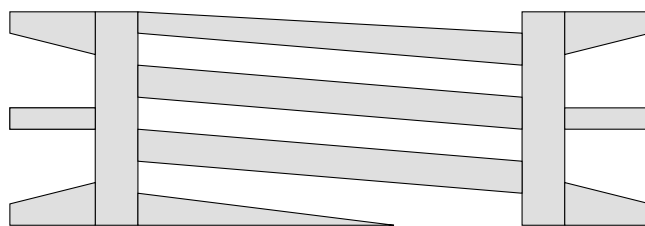
Problém nastáva pri zmene teploty, keď dochádza k dilatácii. Meď a izolácia v závislosti na teplote menia svoje rozmery v inom pomere.

Systém VPI nie je tak kompaktný, ale jeho výroba je mierne jednoduchšia. Použijeme savý papier (zo 100% sľudy) s malými otvormi — do nich vplyvom kapilárnych síl (čím sú póry menšie, tým sú sily väčšie) nasáva. Výsledný tvar nebude tak dokonale obdĺžnikový (bude horšie zatlačenie do drážky), ale výroba je menej finančne náročná.

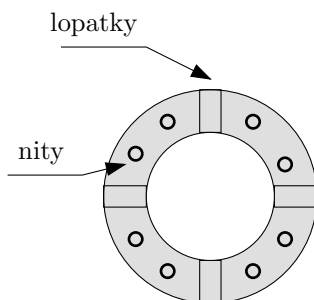
56. Vinutia rotorov asynchrónnych strojov

Medzi základné druhy patria vinutia krúžkové a vinutia naprázdno. Musíme ich spraviť tak, aby odstredivé sily celý rotor neroztrhali.

Klietkové vinutie je podobné koliesku pre hlodavce, len s tým rozdielom, že je mierne natočené — kvôli lepšiemu rozbehu. Na skratovacom kruhu sú po obvode ešte lopatky (tiež odstrednuté z hliníku) a tvoria ventilátor. Na kruhu sú aj malé kôličky, ide o pripravené miesta na závažia pre vývažky.



Obrázok 56.: Klietkové vinutie, z boku.



Obrázok 57.: Klietkové vinutie, z predu.

Vzduchová medzera medzi statorom a rotorom je veľmi malá, rotor sa takmer vždy osústruží, pretože razením plechov by sme tak malú vzduchovú medzeru vytvorili len veľmi obtiažne.

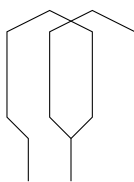
57. Vinutie rotorov komutátorových strojov

Dostali sme sa do oblasti jednosmerných motorov a ich rotorov. Uvedomme si o čo ide — o vinutý rotor jednosmerného stroja. Či je veľký alebo malý, má komutátor a vývody cievok na komutátor.

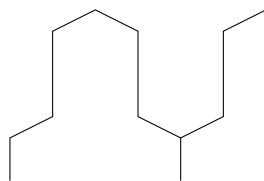
Vinutie je v drážkach upevnené klinmi — tie držia odstredivú silu. Čelá by sa mohli vplyvom odstredivej sily roztrhnúť a preto musia mať bandáže alebo nejaké iné systémy, ktoré ich držia.

Výroba je odlišná pre malé a pre veľké stroje. Pri malých strojoch sa uplatňuje automatizácia, kotvu zložíme z plechov a do drážok vložíme drážkovú izoláciu. Vinutie pripevníme na háčikový komutátor a odporovo ho zvaríme. Vinutie môžeme impregnovať zakvapkávaním (impregnant je kapilárne vtiahnutý do drážky, nelejeme ho tam príliš veľa aby rotor od neho nebol „zašpinený“). Ako impregnant je vhodný bezrozpúšťadlový lak (rozpúšťadlo by sa vyparilo a vznikali by vzduchové bublinky). Potom komutátor pretočíme a vyvážíme.

Výroba veľkých strojov bude kusová. Vinutie bude tyčové a to buď slučkové alebo vlnivé.

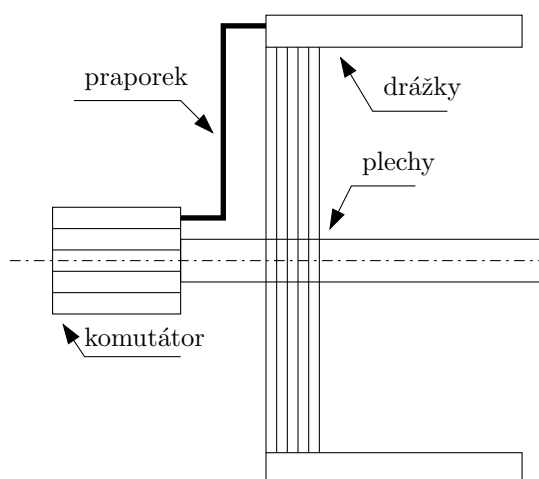


Obrázok 58.: Slučkové vinutie.



Obrázok 59.: Vlnivé vinutie.

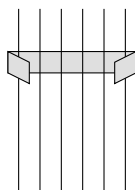
Vinutie nebude väčšinou robené pomocou automatickej navíjačky, ale ručne a ručne bude taktiež vkladané do drážok rotoru. Vyrobíme cievky s čelami a potom ich izolujeme. Takto ich vložíme do otvorených drážok (analógia so statorom). Vinutia prepojíme a vyvedieme na komutátor. V prípade, že rotor a komutátor nemajú rovnaký priemer použijeme na prepojenie takzvané praporky — je to vodivá časť.



Obrázok 60.: Spojenie vinutia s komutátorom pomocou praporkov.

Čelá musia byť mechanicky upevnené aby odolali točivému pohybu. Na obvod dáme izoláciu, aby sa vinutie neodrelo. Na to upevníme bandáž — býva to oceľový drôt. Navinieme ho pomocou stroja s veľkým predpätím. Ako keby sme navinuli jednu vrstvu vinutia, ale z oceľového drôtu. Ako ho uchytiť?

Asi ťažko tam budeme robiť uzol a použijeme na to takzvaný zámok. Je to kovový pliešok, ktorý ohneme na koncoch tak, aby oceľový drôt pridržal.



Obrázok 61.: Pripevnenie bandáže pomocou zámku.

Cievka je ohnutá tak, aby jedna jej strana bola vo vrchnej časti drážky a druhá strana bola v spodnej časti inej drážky — teda v jednej drážke budú vinutia dvoch cievok.

Tvary drážok rotoru sú podobné ako v prípade statoru, v podstate sa nelíšia. Otvorené drážky sa používajú pre vkladanie vinutia (aby sme ho tam boli schopní zasunúť). Pri otvorení drážky sú zárezy pre upevnenie klinov (teda mechanické upevnenie vinutia v drážke). Klíny bývajú z veľmi pevného laminátu.

Ak je vinutie vsypávané, tak je drážka s malým otvorením a vinutie tam vsypávame vodič po vodiči. Po polovici vodičov do drážky vložíme medzivrstvovú izoláciu. Takéto drážky nazývame poloopené resp. polouzatvorené.

Do poloopenej drážky môžeme vkladať aj tvarované vinutie. Je to akýsi kompromis medzi vinutím vsypávaným a vkladným — vkladáme predpripravené časti vinutia, ale sú menšie než celá drážka.

Klín musí byť pevne upevnený (nejde tam vsunúť voľno; ani by nesmel, aby náhodou nevypadol — vinutie musí dobre mechanicky držať). Na upevnenie používame gumené kladivo alebo podobný nástroj.

58. Vinutia turborotorov

Ide o rotory turboalternátorov alebo kompenzátorov účinníku. Takmer vždy ide o dvojpolový stroj s malým priemerom a veľkou dĺžkou. Otáčky sú pri frekvencii 50 Hz 3000 ot/min.

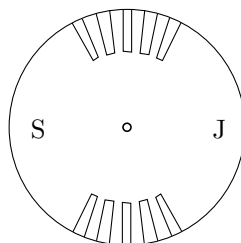
Rotor je hladký, na rozdiel od všetkých ostatných alternátorov (tie nie sú hrbolaté, ale s vyniklými pólmami).

Výkony turboalternátorov sú bežne zhruba od 100 MVA do 200 MVA (môžu byť aj menšie, ale nie tak často). S rastom výkonu rastie aj napätie na statore. Turboalternátor s výkonom 500 MVA je v Mělníku a je to druhý najvýkonnejší alternátor v republike. Je chladený vodíkom a vyhrieva celé Pražské Jižní Město — teplo sa vedie prehriatou parou, niekde na sídlisku je výmenník para–voda. Jeho rotor má priemer zhruba 1 m — väčšie rotory nie sme schopní spraviť, pretože zuby by nevydržali tak veľkú odstredivú silu a odtrhli by sa.

Tie najvýkonnejšie turboalternátory majú výkon okolo 1000 MVA.

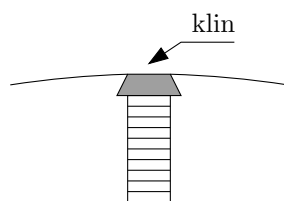
Možné zapojenie vinutí je slučkové alebo vlnivé. Cievka môže mať aj viac závitov, potom by mala dve hlavy. Problémom môže byť spôsob chladenia.

V rotore musia byť vyhotovené drážky s rozmermi až niekoľkých centimetrov. Niekedy sú vyrobené aj pomocné drážky v ktorých buď nie je nič a vyrovnávajú pnutie alebo slúžia na chladenie (preteká nimi vodík alebo vzduch).



Obrázok 62.: Rotor turboalternátoru z predu.

Vinutie v drážkach upevňuje bronzový klín. Do drážky je zarazený pneumatickým kladivom. Bronz je volený z mechanických dôvodov, sklaminát používaný v rotore jednosmerného stroja by v tomto prípade vinutie mechanicky neudržal).



Obrázok 63.: Drážka upevnená bronzovým klinom.

Bronzový klin pripomína tvarom zlaté tehličky. Ale aj tak asi nevieme ako vyzerajú, pretože ich nemáme.

Vinutie je potreba chladiť. Je vyrobené z obdĺžnikových vodičov a tečie nimi pomerne veľký prúd. Vodiče musia byť od seba izolované, budú teda medzi nimi izolačné vložky. Vinutie sa zároveň nesmie dotýkať hriadeľa. Pri otáčkach 3000 ot/min sa nesmie ani pohnúť, ináč by bolo treba celý rotor opraviť — previnúť a vyvážiť.

Spomínané otáčky 3000 ot/min sú menovité, skúšobné otáčky sú 3600 ot/min. Celý rotor by sa roztrhol pri otáčkach okolo 4500 ot/min, je teda vidieť, že v otáčkach veľká rezerva nie je.

Vinutie rotoru musí byť chladené. Je niekoľko spôsobov ako to dosiahnuť. Priame chladenie je, keď chladiace médium prefukuje priamo vodičmi, naprieč alebo pozdĺž. Nepriame chladenie je, keď chladiace médium fúka na rotor.

Do zhruba 100 MVA je médiom vzduch, od 500 MVA vodík (v oblasti medzi sa používa buď vzduch, buď vodík; alebo alternátory s podobným výkonom nevyrábame až v tak veľkých počtoch). Voda sa na chladenie rotoru nepoužíva, je to technicky neriešiteľné (používa sa v statore, zhruba od 500 MVA).

Chladenie menších strojov je zabezpečované pomocou ventilátorov, ktoré vŕhajú do rotoru vzduch.

Chladiace kanály môžu byť axiálne, radiálne; na dne drážky a mostíkové vodiče (s otvormi cez ktoré môže prúdiť vzduch). Na dne drážky je vyfrézovaný kanálik. Ním je tlačенý vzduch z boku pod kapnu (tá býva niekedy prevítaná a vzduch sa cez ňu dostáva aj do oblasti statoru). V pásovom vinutí sú otvory — nie je problém ich vyvŕtať, ale väčším problémom je umiestniť ich tak, aby otvory sedeli nad sebou. Otvor je aj v bronzovom kline.

Vodík ako chladiace médium prenesie oveľa viac tepla, ale jeho použitie je riskantné (nesmie sa zmiešať so vzduchom). Vodiče sú duté a musíme do nich ten vodík dostať — pomocou otvorov ktoré spravíme v oblasti čela. Ostatné sa opakuje — otvory cez bronzové klíny. Komplikácia je v tom, že by sa tok chladiaceho média v strede drážky „zrazil“. Takže nejaké vodiče prefukujeme z ľava do prava a iné z prava do ľava.

Izolácia medzi vodičmi je z materiálu Mikanit — ide o sľudové plátky a epoxid. Aj v nej musia byť chladiace otvory.

Najväčší problém je, že všetká tá izolácia sa musí vytvrdiť. K drážkam sú pripevnené pomocné oceľové pravítka, tie zatlačia izoláciu a potom ju zohrejeme tak, aby sa vytvrdila. Potom z boku začneme zatlačiť bronzové klíny. Sú z niekoľkých dielov (ak by mal klin dĺžku 5 m tak by sme ho do drážky zasunuli len veľmi zložito). Potom plameňom ohrejeme kapnu, tým zväčší svoj priemer, a nasadíme ju na rotor. Po vychladnutí sa pevne usadí na rotore (ak sa usadí zle tak je to veľký problém, výroba kapny je finančne veľmi náročná).

Vinutie je uložené v korýtkach zo sľudy, respektíve zo sľudového papiera.

Čelá sa izolujú ovinutím. Do tejto izolácie potom ale musíme spraviť otvory, taktiež kvôli chladeniu.

Zuby sú v prípade rotoru turboalternátoru mechanicky najchúlostivejšie (presnejšie ich korene). Snažíme sa zabrániť tomu, aby sa pri veľkých otáčkach odtrhli a preto drážky robíme kónické.

„Falošné drážky“ bez vinutia slúžia na zlepšenie chladenia, prúdi nimi chladiace médium. Taktiež môžu slúžiť na zlepšenie symetrie. Drážky turborotorov sú vytvárané hoblovaním alebo frézovaním, ich príprava je veľmi náročná.

Vy štebetáte ako drbný v pohádke.

Budiace vinutie je tvorené jednotkami stoviek závitov. Sú pripojené na relatívne malé napätie (600 V) a pretekajú nimi veľké prúdy. Vývody sú dva, cez osový vývrt vedú na krúžky a kartáče.

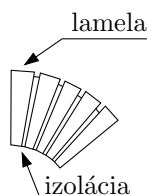
Bez vývodu by nám alternátor príliš neslúžil. Ale ako vyvieš taký výkon? Ako vývod slúži uzemnená oceľová rúra (plášť). V jej strede (na spoločnej osi) je menšia rúra pripevnená pomocou trojice izolátorov.

Takáto konštrukcia sa nazýva zapúzdrený vodič. Z alternátoru vychádzajú tri takéto vodiče a prichádzajú na vstup veľkého transformátoru.

59. Výroba komutátorov

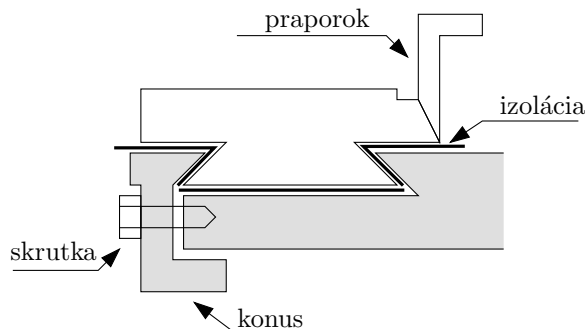
Predpokladajme, že máme hladkú vinutú kotvu a v nej cievky. K nim je pripevnený komutátor.

Komutátor je zložený z po obvode umiestnených lamiel vytvorených z legovanej medi. Komutátora sa dotýka uhlíkový kartáč. Kartáče sú upevnené v konštrukcii nazývanej brejle³). Sú to nejaké pružiny, ktoré tlačia uhlíkové kartáče na lamely. Lamely sú medzi sebou odizolované izoláciou nazývanou komutátorový mikanit, u stredných a veľkých komutátorov tam bude sfuda. Ale nie tá z odpadu (z ktorej sa robí sfudový papier), ale štiepaná. Medzi plátkami sfudy bude pojivo, ale bude ho málo. Prečo? Aby pri stlačení nevyteklo. Sfudová vložka bude tvarom vyzeráť rovnako ako lamela a jej hrúbka bude asi 1–2 mm.



Obrázok 64.: Komutátor z predu, s izoláciou medzi lamelami.

Najčastejšie sa lamely komutátora vytvárajú v tvare rybiny. Je tam praporek a budeme naň pripevňovať vinutie cievky. Lamela musí byť izolovaná od ostatných lamiel a aj od železa. Vkladajú sa tam teda mikanitové dosky.



Obrázok 65.: Lamela komutátoru v tvare rybiny, z boku.

Izolácia medzi lamelou a železom sa nazýva komutátorová manžeta, je to taký stočený kónusovitý žlab.

Kvalitu komutátora môžu majstri, ktorí ich vyrábajú, poznať jednoduchým poklepaním kladivkom — proste počujú či to dobre znie.

Lamely sú namáhané aj na odstredivé sily, musíme ich teda stiahnuť tak, aby nemohli vyletieť. Pri skladaní lamely postavíme na nejakú podložku — a aby nám všetky nespádli, spevníme ich obručou. Obruč je delená, aby sme ju mohli sťahovať. Po stiahnutí vložíme komutátor do pece a pojivo v medzi-lamelových vložkách sa vytvrdí. Potom obruč viac dotiahneme a vložíme znova do pece (tento postup môžeme opakovať dva až tri krát).

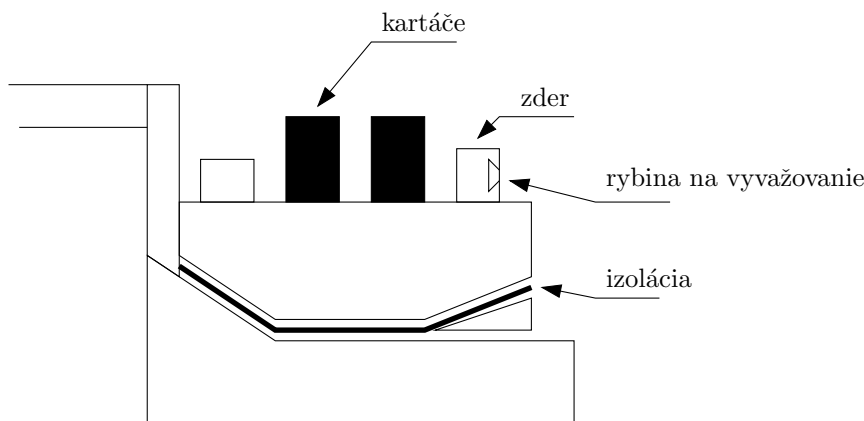
Čo môžeme spraviť s komutátorom, ktorý sme stiahli obručou a vypiekli? Hlavne nesmieme povoliť obruč — komutátor by sa síce nerozpadol (je držaný samotným spečením), ale povolil by a už nikdy by sme ho tak pevne nestiahli. Spojené lamely teda musíme vložiť na konštrukciu kde ho chceme natrvalo umiestniť a znova vložiť do pece, tak, aby sa vytvrdili aj komutátorové manžety.

Lamely majú kónický tvar, ináč by sa to nedalo zostaviť (vzdialenosť medzi susednými lamelami musí byť všade rovnaká). Presnosť rozmerov lamiel je veľmi dôležitá, pri stiahnutí by komutátor mohol byť voľný ak by obe plochy susedných komutátorov nedoliehali tak, ako majú. Medzi susednými lamelami je drážka, hlboká asi 2 mm (vyfrézovaná).

³⁾ [en] Brush rocker, [de] der Kohlebürstenhalter, [ru] uglijderžatjeľ; ale iný názov než „držiak uhlíkov“ respektíve „držiak kief“ som v slovenčine nenašiel, žiadny podobný slangový názov.

Ak chceme stroj na veľký výkon tak nemôžeme spraviť lamely malé — cez malú plochu by sme neboli schopní preniesť požadovaný prúd. Komutátory sa teda robia väčšie, a len výnimočne väčšie ako samotný rotor. Zároveň kartáče nemusia byť zhotovené z jedného kusu uhlíku — často bývajú zložené z viacerých kusov vedľa seba. Ich načervenalá farba naznačuje, že v nich je kvôli zlepšeniu vodivosti primiešaná meď.

Pre väčšie výrobky sú vhodné zderové komutátory. Zdere⁴). sú oceľové obruče a chránia komutátor pred pôsobením odstredivých síl.



Obrázok 66.: Lamela komutátoru so zderou, z boku.

Zdere sa nasádzajú za tepla, nasadiť ich býva problematické. Sťahovaciu konštrukciu môžeme odstrániť až po ich nasadení a vychladnutí (aby komutátor nestratil pevnosť).

Po odtrhnutí môže letiaca lamela z komutátoru spraviť veľké škody.

Malá rybina v zderi slúži na vyvažovanie — pri vyvažovaní do nej umiestňujeme malé závažie. Býva delené na dva kusy, medzi ne zaskrutkujeme skrutku — takto je tam jednoduchšie toto závažie vložiť.

Stredne veľké stroje majú často rybinovité komutátory so svorníkmi a skrutky s predpäťm.

Do lamely sa vyfrézuje malá drážka a do nej umiestnime praporok — slúži na privedenie vinutia na lamelu komutátor.

Obrázok 67.: Lamela s vyfrézovanou drážkou na praporok.

Ak je motor na veľký výkon tak môže byť rybinovitý komutátor aj dvojité. Potrebujeme tak veľké kartáče aby boli schopné preniesť požadovaný prúd, preto ich umiestnime aj 10 vedľa seba. Dlhá lamela by bola veľmi namáhaná odstredivými silami, je jednoduchšie ju rozdeliť na dve časti (a samozrejme elektricky spojiť — spojka vyzerá ako rovný praporok).

S tým súvisí aj to, že priemer komutátora musí byť dostatočne veľký — na malý priemer by sme dokázali dať len veľmi úzke lamely a z nich by sme neodviedli prúd.

Výroba komutátoru je dosť háklivá záležitosť, ak niečo stroskotá tak je to väčšinou problém komutátoru. Na kvalite lamely beh stroja veľmi záleží; stačí aby sa jedna vydula a nastanú veľké problémy. Aj preto nesmieme pri výrobe komutátor nikdy povoliť — po spečení by sa už nerozpadol, ale povolil by a už nikdy by sme ho nemohli tak pevne stiahnuť.

Lamely sa kalibrujú a zisťuje sa ich úkos. Používa sa na to merka v ktorej musí lamela presne sedieť. Kontrola musí byť dôkladná, tlak medzi lamelami musí byť rovnomerný aby boli lamely pevne upevnené aj v hornej aj v dolnej časti.

⁴) [cz] zděř komutátoru, stahovací — [en] commutator shrink-on collar, commutator shrink ring; znova nepoznám nejaký iný preklad do slovenčiny než „sťahovací krúžok na komutátor“

Pri skladaní komutátorov sa používajú sťahovacie konštrukcie. Najmä pre rýchlobežné stroje, turboalternátory, sa používajú zderové komutátory. Menej častým spôsobom je sťahovanie pomocou skrutiek. Skrutky tlačia cez akúsi vložku na lamely, aby ich nepoškodili. Rádus vložiek musí zodpovedať rádiusu, ktorý dosiahneme pri úplnom stlačení. Sťahovacie konštrukcie sú preto zložené z niekoľkých segmentov medzi ktorými je šikmá medzera — sťahovaním sa zmenšuje.

Obrázok 68.: Medzera medzi segmentami sťahovacej konštrukcie.

Niekedy chceme na zderový komutátor umiestniť zder do stredu lamiel (ochrana pred účinkami odstredivých síl). Ako ju tam ale umiestniť bez toho, aby sme povolili sťahovaciu konštrukciu? Použijeme na to fintu s názvom pomocná zder. Kraj komutátoru mierne obrobíme a umiestnime tam tenký oceľový kruh — pomocnú zder. Je samozrejme izolovaná, aby neskratovala lamely. Pri výrobe je jej pevnosť dostatočná na to, aby sme mohli sťahovaciu konštrukciu odstrániť, ale pri rotácii by lamely mechanicky neudržala. Umiestnime cez ňu teda ešte jednu zder, ktorá mechanické sily udrží.

Obrázok 69.: Pomocná zder.

Častejším typom sťahovacej konštrukcie je lisovací typ. Dostredivý tlak je vytváraný kónusmi. Ak je komutátor dlhší tak sú zdere na dvoch alebo troch miestach.

Obrázok 70.: Sťahovacia konštrukcia kónusovitá.

Komutátor stiahneme, dopečieme, znova dotiahneme, dopečieme, znova a znova — tento postup sa môže opakovať dva alebo tri krát.

Pri väčších komutátoroch je izolácia zásadne sľudová a kombinovaná s pojivom. Sľuda býva väčšinou plátková. Pojiva býva málo, rádovo jednotky percent. Je to preto, aby takáto izolácia nebola stlačiteľná — aby sa po vypečení a vytvrdení nestláčala ďalej a aby z nej pojivo nevytekalo. Názov takejto izolácie je komutátorový mikanit. Niekedy sa môže vyrábať aj zo sľudy regenerovanej (teda z odpadu). Nie je to však tak výhodné, pretože je stlačiteľná.

Po zosadení do kruhu komutátor ešte obtácame na sústruhu — aby mal čo najdokonalejší kruhový tvar. Kvôli opotrebeniu komutátoru a jeho následnému osústruženiu bývajú niekedy na lamelách malé zápichy (zárezy).

Do lamely spravíme kotúčovou frézku malý zárez a vložíme doň praporok. Ten potom znitujeme, zvaríme alebo iným spôsobom pripevníme. Praporok použijeme vtedy, keď je rôzny priemer komutátoru a kotvy.

Nakoniec upevníme kartáče do brejlí — držiakov. Veľké stroje majú kartáče veľké, napríklad 2×7 cm. Do kartáču sa pridáva meď na zlepšenie vodivosti. Mäkký kartáč vedie veľké prúdy, ale rýchlo sa opotrebovávajú.