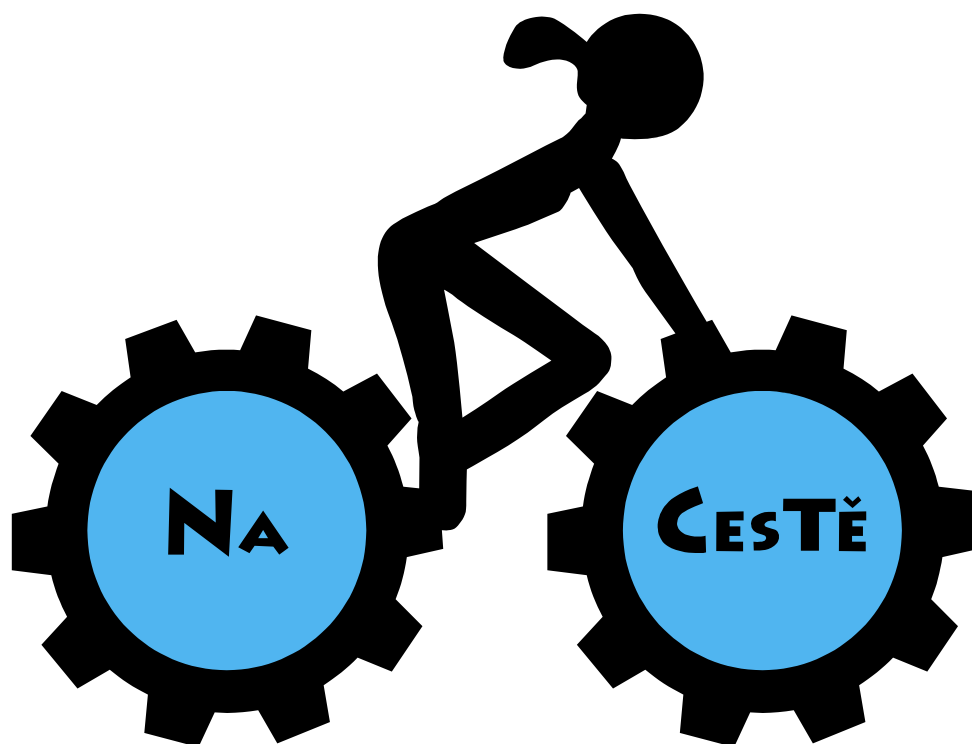


Elektrické stroje a přístroje





Elektrické stroje a přístroje

Bc. Jiří Zoufalý

„Najdi si cestu k technice“
CZ.1.07/1.1.16/01.0006

Elektrické stroje a přístroje

Bc. Jiří Zoufalý

© Integrovaná střední škola Sokolnice
Sokolnice 2014

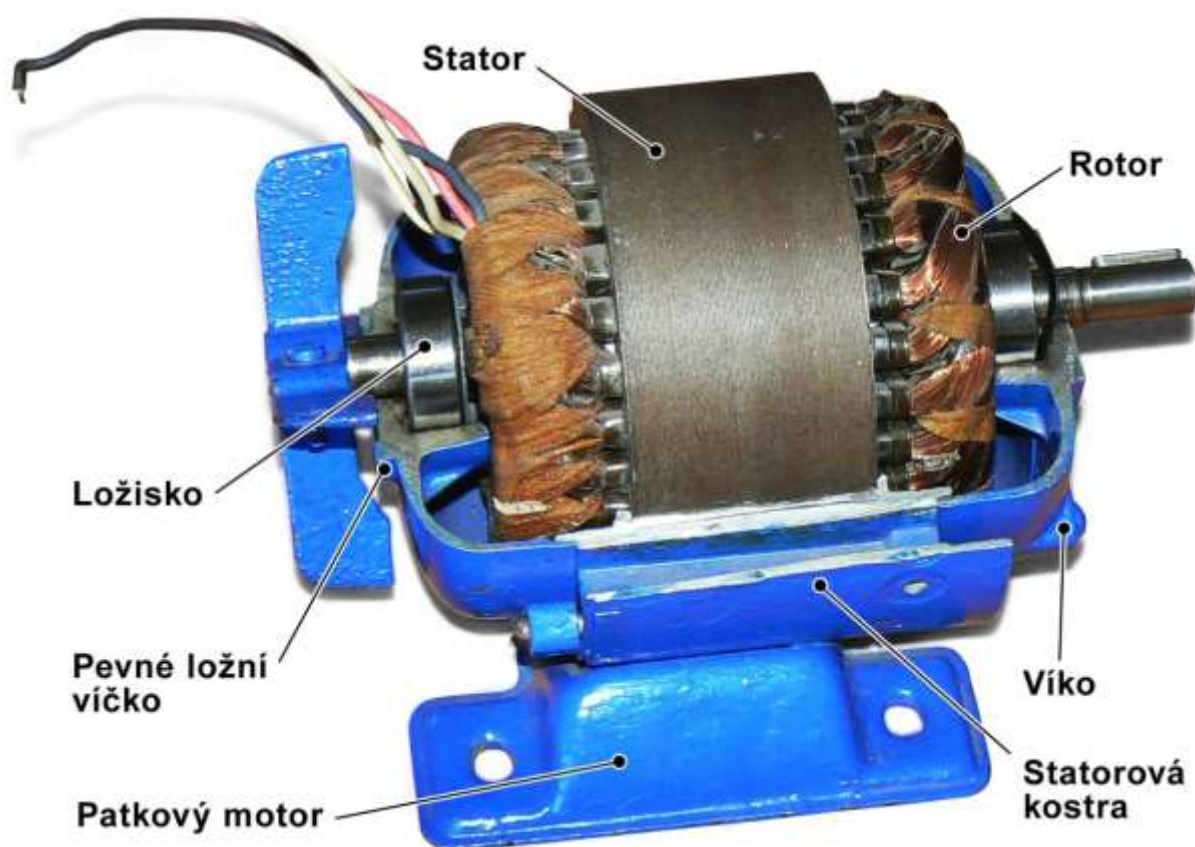
1. vydání

OBSAH

ÚVOD	3
1 ELEKTRICKÉ STROJE	4
1.1 Asynchronní stroje.....	4
1.1.1 Konstrukce	4
1.1.2 Princip	6
1.1.3 Spouštění asynchronního elektromotoru.....	8
1.1.4 Řízení rychlosti otáčení, brzdění, reverzace	9
1.1.5 Připojování elektromotoru na síť	10
1.1.6 Použití asynchronních strojů	12
1.1.7 Práce na asynchronních elektromotorech	12
1.1.8 Měření a zkoušení (ČSN 350010).....	12
1.1.9 Zjišťování závad	14
1.1.10 Montáž a demontáž asynchronního stroje.....	15
1.1.11 Zjišťování základních údajů o vinutí	18
1.1.12 Postup navíjení statorového vinutí asynchronního motoru.....	20
1.1.13 Schéma zapojení asynchronních elektromotorů	31
1.2 Synchronní stroje	42
1.2.1 Konstrukce	42
1.2.2 Princip	43
1.2.3 Použití synchronních strojů.....	44
1.2.4 Zapojení synchronních strojů.....	46
1.3 Komutátorové stroje	50
1.3.1 Konstrukce komutátorových strojů.....	50
1.3.2 Princip komutátorových strojů.....	53
1.3.3 Použití komutátorových strojů.....	54
1.3.4 Rozdělení komutátorových strojů	56
1.3.5 Vinutí komutátorových strojů	58
1.3.6 Měření komutátorových strojů.....	68
1.4 Transformátory.....	70
1.4.1 Konstrukce transformátoru	70
1.4.2 Princip transformátoru	73
1.4.3 Rozdělení a užití transformátorů.....	74
1.4.4 Navíjení a zapojování transformátorů.....	79
1.4.5 Měření na transformátorech.....	87
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	88
SEZNAM TABULEK	90
POUŽITÁ LITERATURA	91

ÚVOD

V následujících kapitolách se hodlám zabývat elektrickými stroji točivými, jejich nejvýznamnějšími a nejčastěji používanými zástupci. Kapitoly obsahují jak teoretickou část – popis principu stroje, tak hlavně poznatky využitelné v praxi. Jsem si vědom, že následující text neobsahuje, a ani nemůže obsahovat, na tak malém prostoru úplnou problematiku elektrických strojů točivých. Zaměřil jsem se především na oblast údržby a oprav těchto strojů.



OBRÁZEK 1 ŘEZ ASYNCHRONNÍM ELEKTROMOTOREM

1 ELEKTRICKÉ STROJE

Jsou elektromechanická zařízení sloužící k přeměně elektrické energie na mechanickou (případně opačně) nebo elektrické energie opět na elektrickou, ale s jinými parametry.

Elektrické stroje dělíme na **točivé** (generátory, motory, kompenzátory) a **netočivé** (transformátory).

1.1 ASYNCHRONNÍ STROJE

Zahrnují rozsáhlou skupinu asynchronních elektromotorů třífázových a jednofázových a asynchronní generátory.

1.1.1 KONSTRUKCE

Každý asynchronní stroj je složen ze dvou hlavních částí:

- **Stator** je statická část stroje složená z elektrotechnických plechů síly 0,5 mm. Na vnitřním obvodu statorových plechů jsou drážky a v nich je izolovaně uloženo vinutí. **Statorová kostra** je nejčastěji litinová, svařovaná nebo ze slitiny hliníku. Plechy statoru jsou v kostře nalisované. **Patkový motor** má ve spodní části statoru patky k uchycení. **Přírubový motor** má přírubu, která je součástí víka. Na kostře je svorkovnice, kam jsou vyvedeny konce vinutí a závěsné oko pro přepravu motoru.



OBRÁZEK 2 STATOR ASYNCHRONNÍHO MOTORU

- **Rotor** je pohyblivá část, která je složena z elektrotechnických plechů síly 0,5 mm s drážkami. Rotorové plechy malých motorů se nalisují přímo na vroubkovaný hřídel, u větších motorů na drážku pro pérový klín.

Motory s kotvou nakrátko mají v drážkách rotoru tyče, které jsou po obou stranách rotoru spojeny kruhy. Tyče společně s kruhy tvoří klec. U menších motorů se používají lité hliníkové klece. Při odlévání se společně odlévají i větrací lopatky.

Motory s kotvou kroužkovou mají v drážkách rotoru uloženo třífázové vinutí z měděných izolovaných vodičů spojených do hvězdy a vyvedených na tři kroužky.



OBRÁZEK 3 ROTOR S KOTVOU NAKRÁTKO



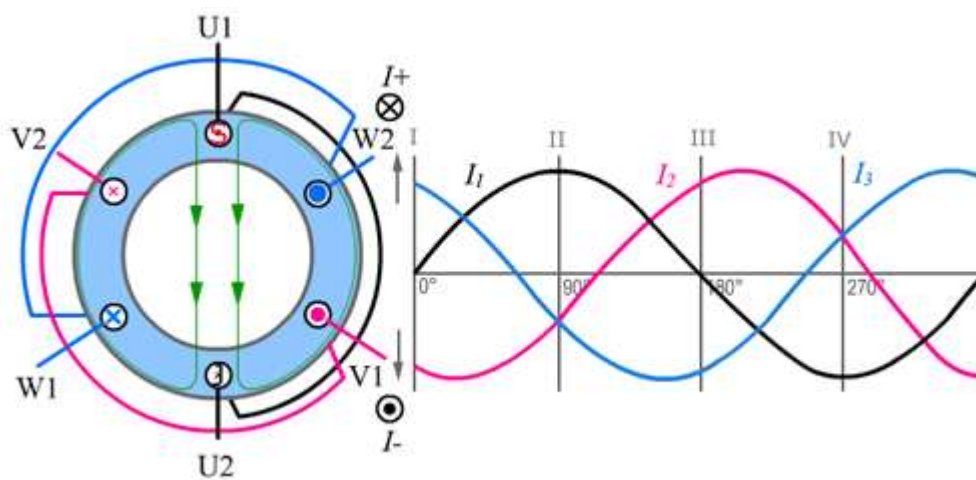
OBRÁZEK 4 POHLED NA TŘI KROUŽKY KROUŽKOVÉHO ROTORU



OBRÁZEK 5 ROZLOŽENÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR

1.1.2 PRINCIP

Základem činnosti **třífázového asynchronního motoru** je vytvoření točivého magnetického pole, které vznikne průchodem střídavého trojfázového proudu vinutím statoru. Toto magnetické pole indukuje v rotoru napětí a vzniklý proud vyvolává sílu otáčející rotorem.



OBRÁZEK 6 VZNIK TOČIVÉHO MAGNETICKÉHO POLE STATORU PRŮCHODEM TŘÍFÁZOVÉHO PROUDU

Otáčky točivého pole jsou dány kmitočtem napětí odebíraného ze sítě a počtem pólů třífázového motoru.

$$n_s = \frac{f}{p} \quad [s^{-1}],$$

kde f je kmitočet proudu a p je počet pólových dvojic statoru.

Rotor se nikdy nemůže otáčet stejnými otáčkami jako magnetické pole statoru. Pokud by se tak stalo, pak by se rotor a magnetické pole vůči sobě nepohybovaly a tím by se ani neindukovalo napětí a nevznikala by točivá síla. Míra rozdílu otáček pole a rotoru je nazývána **skluz**, udávána v procentech a definována jako:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100 \quad [\%],$$

kde n_1 jsou otáčky magnetického pole statoru (synchronní otáčky), n jsou otáčky rotoru. U malých motorů se skluz pohybuje okolo 8%, u velkých 1%.

Princip **jednofázových asynchronních elektromotorů** je v podstatě shodný s třífázovým. Liší se pouze v dosažení točivého magnetického pole ve statoru, nutného pro rozběh motoru. U třífázového elektromotoru využíváme průběhu třífázového proudu – fázového posunu 120° mezi fázemi. U jednofázových elektromotorů využíváme fázového posunu mezi proudem a napětím v závislosti na druhu zátěže. Rozeznáváme zátěž ohmickou – proud je ve fázi s napětím, zátěž kapacitní – proud se předbíhá před napětím o 90° a zátěž induktivní – proud se zpožďuje za napětím v ideálním případě o 90° . Jednofázový asynchronní elektromotor má ve statoru vinutí hlavní fáze a vinutí fáze pomocné – rozběhové. Mezi začátky těchto vinutí se připojuje **kondenzátor**, který posouvá proud v rozběhovém vinutí proti vinutí hlavnímu. Točivé pole ve statoru je nutné pouze pro rozběh motoru. Pro vlastní chod motoru postačí pole pulzní, vytvořené sinusovým průběhem jedné fáze. Proto ve většině případů se pomocné vinutí krátce po rozběhu odpojuje odstředivým vypínačem. Na stejném principu posunutí proudu v hlavním a pomocném vinutí pracují méně používané motory s pomocnou fází **odporovou** a s **bifilárním vinutím**.

Každý třífázový asynchronní elektromotor může za určitých podmínek pracovat jako **asynchronní generátor**. Elektromotor je potřeba připojit k síti a vhodným zařízením roztočit na otáčky vyšší než jsou otáčky jmenovité. O kolik je štítková hodnota otáček motoru nižší než příslušné synchronní otáčky odpovídající počtu pólů a frekvenci v síti, o tolik bude potřeba motor přetočit, má-li fungovat jako generátor a dodávat jmenovitý výkon.

- Elektromotor ve funkci asynchronního generátoru může dodávat proud pouze do veřejné třífázové elektrorozvodné sítě.
- Elektromotor ve funkci asynchronního generátoru za běžných okolností nelze použít v místech, kde tato síť není. Nemůže tedy pracovat jako nouzový zdroj při jejím výpadku nebo jako jediný zdroj v neelektrifikovaných lokalitách.
- Generátor není nutné k síti složitě fázovat.
- Generátor nevyžaduje žádnou regulaci napětí a frekvence.

V současnosti se asynchronní generátor využívá nejčastěji jako stroj na výrobu elektrické energie v malých vodních elektrárnách a v elektrárnách větrných.

1.1.3 SPOUŠTĚNÍ ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU

Při spouštění asynchronního motoru je záběrový proud až 7krát vyšší než hodnota nominálního proudu. Tím vznikají v síti velké proudové rázy i při poměrně malém záběrovém momentu. Proto je přímé spouštění povoleno pouze pro motory s výkonem přibližně do 3 kW.

Motor s kotvou na krátko

Zmenšení velkého rozběhového proudu lze u těchto typů motoru docílit pouze snížením rozběhového napětí. Nejčastěji používané metody jsou:

- **Přepínač hvězda – trojúhelník**

- Statorové svorky motoru jsou běžně spojeny do trojúhelníku, pokud při rozběhu přepneme svorky do hvězdy, napětí na vinutí se zmenší $\sqrt{3}$ krát, tím klesne odebíraný proud a výkon na třetinu. Metoda se může používat jen při malém zatížení motoru. Štítkové údaje motoru jsou Y/D 690/400 V. V praxi využíváme mechanické přepínače nebo stykačové kombinace Y/D.

- **Polovodičový regulátor napětí – softstartér**

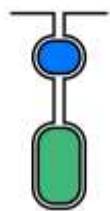
- Jde o moderní postup, při kterém lze dosáhnout plynulý rozběh motoru, zlepšení účinnosti a ještě šetřit elektrickou energií. Elektromotor je připojen přes antiparalelně zapojené tyristory v každé fázi, regulací vstupního napětí se omezuje proudový náraz při startu. Při spouštění zatížených elektromotorů se využívá kompresorů, velkých ventilátorů apod. Může být doplněn mechanickou spojkou.

- **Rozběhové transformátory**

- Do spouštěcího obvodu připojené transformátory snižují rozběhové napětí a tím i rozběhový proud. Z ekonomických důvodů se nejčastěji používají autotransformátory. Při spouštění lze autotransformátor i přetížit, neboť ihned po rozběhnutí motoru je odpojen ze sítě. Tento způsob rozběhu se používá hlavně pro motory velkých výkonů.

- **Speciální úprava klece**

- Kotvy s dvojitou klecí - jedna klec je nazývána rozběhová a druhá, umístěna blíže ke středu, je nazývána běhová. Rozběhová klec je vyrobena z materiálu s větším měrným odporem.



OBRÁZEK 7 DRÁŽKA DVOJITÉ KLECE

- Vírová kotva – po celém obvodu rotoru jsou umístěny speciální tvary drážek vinutí a tyčí. Každý z těchto vodičů má stejný odpor, ale různou rozptylovou indukčnost.



OBRÁZEK 8 DRÁŽKA VÍROVÉ KLECE

Motor s kroužkovou kotvou

Přes kartáče je ke sběracím kroužkům rotoru připojen rotorový spouštěč, sestaven ze tří stejně velkých odporů, které jsou postupně vyřazovány. Na konci rozběhu je vinutí spojeno na krátko. Výhodou je, že motory mohou být při rozběhu zatížené.

1.1.4 ŘÍZENÍ RYCHLOSTI OTÁČENÍ, BRZDĚNÍ, REVERZACE

Otáčky rotoru:

$$n = n_1(1 - s) = \frac{f_1}{p}(1 - s)$$

jsou tedy dány skluzem s , kmitočtem napájecího napětí f_1 a počtem pólů p . Regulovat otáčky tedy můžeme změnou kterékoliv z těchto veličin.

- **Regulace změnou skluzu** - změníme-li výkon, který se spotřebovává v rotoru, změní se i skluz. To lze použít pouze pro motor s kroužkovou kotvou. Pomocí regulačního odporu (zařazením odporu do obvodu rotoru) se část skluzového výkonu přemění na teplo. Je to ne hospodárný způsob změny skluzu, v praxi se nepoužívá.

- **Regulace změnou kmitočtu** se používá u motorů s kotvou na krátko. K řízení se využívá polovodičový měnič kmitočtu. Jde o nejdokonalejší způsob řízení otáček a lze jím docílit i otáček nadsynchronních.
- **Regulací změnou počtu pólů** lze dosáhnout pouze skokové změny otáček, protože počet pólových dvojic musí být celé číslo. Zapojením vinutí statoru získáme dva možné druhy otáček. Např. 2800/1430. Přepínání otáček probíhá z klidu stroje.

Brzdění

Při prostém odpojení ze sítě je v motoru akumulována velká kinetická energie, která působí dlouhý doběh motoru. Brzdný moment, potřebný k rychlejšímu zastavení motoru, lze vytvořit jak mechanicky, tak i elektronicky.

- **Brzdění protiproudem** - změněním smyslu otáčení magnetického pole statoru se vytváří brzdý moment, působící proti směru otáčení rotoru. Po dosažení nulových otáček je nutno motor odpojit, aby se nezačal otáčet opačným směrem. Veškerá kinetická energie se mění na teplo, tento způsob je tedy značně nevhodný.
- **Brzdění generátorické** - nastává při práci motoru jako generátoru, tedy když $n > n_1$ a nelze jej použít pro zastavení motoru.
- **Dynamické brzdění** - statorové vinutí se odpojí od sítě a připojí se na zdroj stejnosměrného napětí. Magnetické pole statoru je tedy nepohyblivé a pohybující se rotor sám vytváří brzdý moment. Velikost brzdého momentu je možno regulovat velikostí stejnosměrného proudu. Při otáčkách blízkých nule se musí motor dobrzdit mechanicky. Tento způsob brzdění je nejvýhodnější.

Reverzace je změna směru otáčení. Provádí se záměnou dvou libovolných fází v přívodu třífázového elektromotoru. V praxi používáme reverzační přepínače nebo stykačové kombinace. U jednofázových elektromotorů zaměníme začátek za konec, buď v hlavní, nebo v pomocné fázi, vývody z motoru na svorkovnici. Některé jednofázové motory mají směr otáčení nastaven od výrobce, na svorkovnici mají vyvedeny pouze tři vodiče.

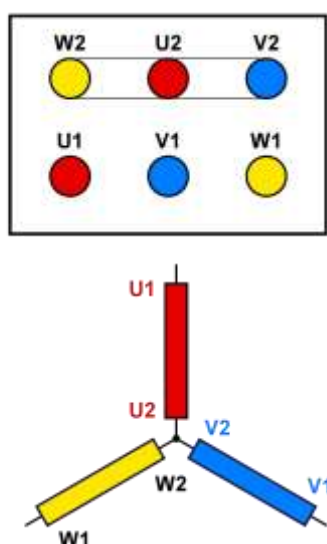
1.1.5 PŘIPOJOVÁNÍ ELEKTROMOTORU NA SÍŤ

Vinutí třífázových asynchronních elektromotorů spojujeme do **hvězdy** propojením konců do uzlu buď na svorkovnici, nebo na věnci. Rozhodující pro zapojení do hvězdy jsou štítkové údaje, v tomto případě **Y/D - 400/230 V**. Tento údaj nám říká, že motor má vinutí, které snese

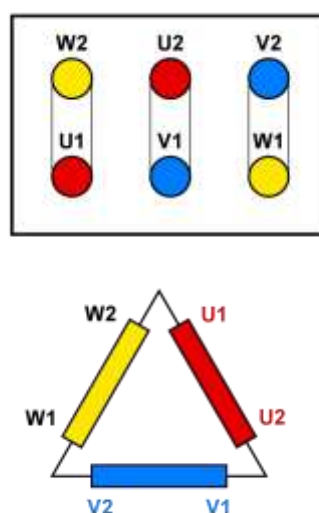
ve hvězdě 400 V a v trojúhelníku 230 V. Můžeme proto tento motor v třífázové síti 3x400/230 V zapojit pouze do hvězdy, v trojúhelníku by se zničil. Jedná se zpravidla o malé elektromotory o výkonu do 3 kW.

Vinutí třífázového asynchronního elektromotoru zapojujeme do **trojúhelníka** spojením příslušných začátků a konců vinutí podle obr. 8, buď na věnci, nebo na svorkovnici motoru v případě, že štítkové údaje jsou **Y/D – 690/400 V**. Tento motor můžeme zapojit i do hvězdy, ovšem pouze na třetinový výkon. Jedná se o motory o výkonu nad 3 kW, které se zpravidla spouští přes přepínač Y/D.

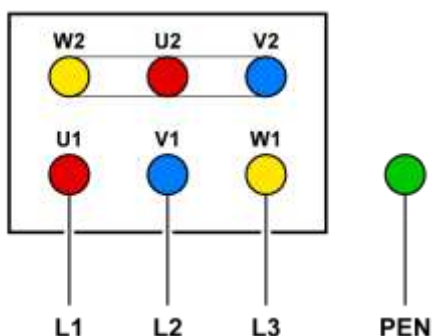
Y/D 400/230 V (380/220 V)



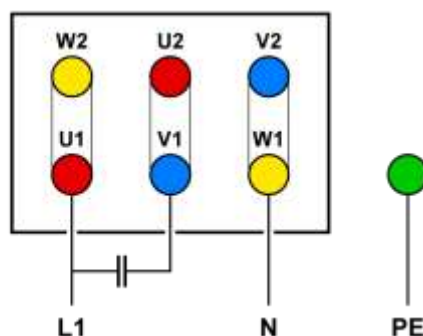
Y/D 690/400 V (660/380 V)



Připojení svorkovnice na síť



Připojení 3F. svorkovnice na 1F. síť



OBRÁZEK 9 ZAPOJENÍ SVORKOVNICE TŘÍFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU

1.1.6 POUŽITÍ ASYNCHRONNÍCH STROJŮ

Třífázové asynchronní elektromotory – patří v současnosti vzhledem ke své jednoduchosti a spolehlivosti k nejpoužívanějším elektromotorům vůbec. Jejich jediným nedostatkem v dřívějších dobách byla nemožnost plynulé regulace otáček. Tento nedostatek byl v minulých desetiletích odstraněn konstrukcí polovodičového měniče kmitočtu. V náročných aplikacích tvoří měnič kmitočtu spolu s asynchronním elektromotorem jeden celek, tzv. **pohon**.

Jednofázové asynchronní elektromotory – nacházejí uplatnění v řadě případů používaných v jednofázových soustavách, např. v domácnostech. Používají se všude tam, kde si vystačíme s jejich maximálními otáčkami 2800 ot/min. Při potřebě vyšších otáček jsou tyto motory nahrazovány jednofázovými komutátorovými sériovými elektromotory.

Asynchronní generátory – nacházejí v poslední době široké uplatnění hlavně s rozvojem alternativních zdrojů elektrické energie. Používají se především v malých vodních elektrárnách a ve větrných elektrárnách. Jejich nespornou výhodou je snadné připojení k síti – absence nutnosti fázování a spolehlivý provoz.

1.1.7 PRÁCE NA ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORECH

V následující kapitole se zaměříme na **údržbu**, zjišťování případných závad, **měření** a **opravy** elektromotorů. Každé zařízení, má-li pracovat co nejdéle ke spokojenosti majitele, potřebuje alespoň základní údržbu. U asynchronních elektromotorů údržba spočívá hlavně v kontrole ložisek – jediná část elektromotoru podléhající opotřebení, v dotažení šroubů, očištění povrchu od prachu a případných nečistot – zlepšení chlazení. Obecně platí, že asynchronní elektromotory jsou zařízení jednoduchá, málo poruchová a nevyžadují zvýšené nároky na údržbu.

1.1.8 MĚŘENÍ A ZKOUŠENÍ (ČSN 350010)

Mezi základní měření na elektromotorech patří **měření izolačního stavu**. Toto měření je třeba provést před uvedením elektromotoru do provozu, po delší odstávce elektromotoru, při poruše, po opravě. Měření provádíme měřicím přístrojem **megmet**. Jde o měřidlo odporu v megaohmech. Přístroj je napájen, podle typu, z vlastního generátoru, z baterií nebo ze sítě. Měření provádíme mezi jednotlivými fázemi na svorkovnici při rozpojených spojkách. Dále měříme mezi jednotlivými fázemi a kostrou. Naměřená hodnota musí přesahovat dva megaohmy, u motorů v provozu jeden megaohm.



OBRÁZEK 10 STARÝ A NOVÝ MĚŘICÍ PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ IZOLAČNÍHO STAVU

Zkoušení izolačního stavu (ČSN 340010) provádíme zvyšováním napětí, které vypočítáme podle vzorce:

$$U_{zk} = 2U_{jm} + 1000$$

Při měření izolačního stavu, bez ohledu na výsledek měření, nedojde k poškození vinutí. Proto je vhodné nejdříve měřit a teprve potom zkoušet.

Při zkoušení izolačního stavu přiložením zvýšeného napětí může dojít, v případě špatné izolace, k vytvoření vodivé cesty. Pokud však zkouška proběhne v pořádku, máme 100 % jistotu o neporušenosti izolace.



OBRÁZEK 11 ZKOUŠENÍ IZOLAČNÍHO STAVU ZVÝŠENÝM NAPĚTÍM

Měření naprázdno – elektromotor připojíme k síti na jmenovité napětí a měříme proudy v jednotlivých fázích. Z proudu a napětí vypočítáme výkon, který odpovídá ztrátám v magnetickém obvodu a ztrátám mechanickým.

Měření nakrátko - elektromotor zabrzdíme, připojíme přes autotransformátor, na kterém zvyšujeme napětí, až prochází přes vinutí jmenovitý proud. Ze jmenovitého proudu a nastaveného napětí nakrátko vypočítáme výkon, který odpovídá ztrátám v mědi.

Sečtením ztrát v mědi + ztrát v magnetickém obvodu + ztrát mechanických získáme celkové ztráty elektromotoru. Přičtením celkových ztrát k výkonu motoru získáme příkon elektromotoru. Podíl výkon (zjistíme na štítku) / příkon (vypočítáme viz výše) = účinnost elektromotoru.

1.1.9 ZJIŠŤOVÁNÍ ZÁVAD

Jednoduchý postup měření a zkoušení, kterým odhalíme případnou závadu nebo potvrdíme bezporuchový stav:

- Zjistíme, zda se motor volně otáčí a nedře rotor o stator.
- Sundáme kryt ze svorkovnice motoru a překontrolujeme začátky a konce fází a způsob zapojení.
- Odstraníme spojky ze svorkovnice a proměříme, zda není některá fáze přerušena. Měříme mezi začátkem a koncem fáze (ohmmetrem, zkoušečkou obvodů).
- Změříme izolační stav megmetem, nebo jiným adekvátním měřicím přístrojem. Měříme mezi začátky fází (1 s 2; 2 s 3; 1 s 3;). Měříme mezi začátky fází a kostrou.
- Pokud motor vyhovuje, provedeme zkoušku izolačního stavu zvýšeným napětím.
- Pokud motor dále vyhovuje, připojíme ho na síť přes autotransformátor, postupně zvyšujeme napětí až na U_{jm} a měříme proudy v jednotlivých fázích. Nestejné proudy ukazují na závitový zkrat. Pokud jsou proudy ve fázích stejné a odpovídají štítkovým údajům, je motor v pořádku.

1.1.10 MONTÁŽ A DEMONTÁŽ ASYNCHRONNÍHO STROJE

DEMONTÁŽ

Při **demontáži** asynchronního stroje dodržujeme následující postup:

- **Před demontáží:**
- Připravíme si bednu na součástky.
- Označíme si jednotlivé strany důlčíkem. **Na stranu u hřídele vyrazíme asi 5 mm od sebe dva důlky na víko i stator. Na protější stranu jeden.** Je-li třeba označit další části spojené s motorem, opět jednotlivé části označíme, případně provedeme jednoduchý nákres. Je nezbytně nutné, aby značení i nákres byly srozumitelné a kdokoliv byl schopen podle nich motor složit.
- Povolíme a vyjmeme všechny svorníky. Pokud jsou víka místo svorníků přichycena šrouby, povolíme a odšroubujeme všechny šrouby.
- Demontujeme ložní víčko na straně hřídele. Pokud má motor pevná ložní víčka, (součást víka) nic nedemontujeme.
- **Kladivem vyklepneme rotor.** Nikdy neklepeme přímo na opracované části, ale vždy přes dřevo, hliník, měď nebo jiný materiál o menší tvrdosti než ocelová hřídel. V opačném případě hřídel rozklepeme a způsobíme si problémy při demontáži ložisek nebo při narážení řemenice.
- Vyjmeme rotor se zadním víkem a přes dřevo vyrazíme kladivem přední víko. Demontujeme zadní ložní víčko a sklepeme zadní víko z ložiska.
- Stahovákem stáhneme ložiska. Stahováky jsou dvouramenné a tříramenné, různých velikostí. Je třeba volit stahováky přiměřené velikosti.



OBRÁZEK 12 DEMONTÁŽ SVORNÍKŮ



OBRÁZEK 13 DEMONTÁŽ LOŽNÍHO VÍČKA



OBRÁZEK 14 VYRAŽENÍ ROTORU



OBRÁZEK 15 DEMONTOVANÝ ROTOR



OBRÁZEK 16 VYRAŽENÍ ZADNÍHO VÍKA



OBRÁZEK 17 DEMONTÁŽ LOŽISKA

MONTÁŽ

Při **motáži** asynchronního elektromotoru postupujeme následovně:

- Nejdříve narazíme ložiska. Rotor postavíme na pevné podložce do vertikální polohy. Pokud má motor montovatelná ložní víčka, nasadíme vnitřní ložní víčko. Technickými údaji nahoru nasadíme ložisko a narazíme ho trubkou přes vnitřní kroužek. Průměr trubky musí odpovídat průměru vnitřního kroužku ložiska a musí jít volně nasadit na hřídel.
- Na zadní ložisko nasadíme víko motoru. Sešroubujeme ložní víčka. Šrouby prochází přes vnější ložní víčko, víko motoru a jsou zašroubovány do vnitřního ložního víčka. Montáž ložních víček neprovádíme u motorů s pevnými ložními víčky.
- Do vnitřního ložního víčka na straně hřídele našroubujeme svorník. Podle značení vík vložíme rotor do statoru. Nasadíme přední víko. Vložíme svorníky a postupně je utahujeme. Svorníky utahujeme křížem a neustále si kontrolujeme, jestli se rotor

otáčí. Při správném postupu jsou všechny šrouby dotažené a rotor se volně otáčí. Pokud motor nemá svorníky, ale šrouby, je jeho sestavení zpravidla snazší.

- Svorníkem přitáhneme vnitřní ložní víčko, přes svorník nasadíme vnější ložní víčko a sešroubujeme šroubem. Vyšroubujeme svorník a našroubujeme druhý šroub.



OBRÁZEK 18 NARÁŽENÍ LOŽISKA



OBRÁZEK 19 UCHYCENÍ ZADNÍHO LOŽNÍHO VÍČKA



OBRÁZEK 20 MONTÁŽ LOŽNÍHO VÍČKA



OBRÁZEK 21 SESTAVENÝ ELEKTROMOTOR

1.1.11 ZJIŠŤOVÁNÍ ZÁKLADNÍCH ÚDAJŮ O VINUTÍ

Před demontáží vinutí elektromotoru je třeba zjistit základní údaje o vinutí a zapsat je do připraveného formuláře, viz obrázek 21. V horní části vyplníme tabulku, ve které jsou údaje ze štítku motoru. V další části jsou údaje o vinutí, které zjišťujeme před demontáží a během demontáže vinutí.

3Fázový motor _____ kW _____ ot/min			
Stator Y _____ V _____ A		Výrobce _____	
D _____ V _____ A		Typ motoru _____	
	Starý údaj	Nový údaj	Poznámka
Počet drážek			
Počet vodičů v drážce			
Paralelní vodiče v drážce			
Počet závitů v drážce			
Průměr vodiče			
Spojení cívek (sériové - paralelní)			
Spojení statoru (Y D 6 konců vyvedeno)			
Druh vinutí (překládací, smutňovací, jednoduché, dvouvrstvé)			
Krok vinutí			
Počet drážek na pól a fázi			
Váha vodiče			

OBRÁZEK 22 FORMULÁŘ, DO KTERÉHO ZAPISUJEME ÚDAJE O VINUTÍ

Jak zjistíme příslušné údaje:

- **POČET DRÁŽEK** – spočteme, značí se N_d
- **POČET VODIČŮ V DRÁŽCE** – spočítáme všechny vodiče v jedné drážce, provádíme až po demontáži vinutí.
- **PARALERNÍ VODIČE V DRÁŽCE** – zjistíme na věnci, kolik vodičů je připojeno k vývodu na svorkovnici.
- **POČET ZÁVITŮ V DRÁŽCE** – počet vodičů v drážce podělíme počtem paralelních vodičů v drážce.
- **PRŮMĚR VODIČE** – měříme mikrometrem vodič bez izolace.
- **SPOJENÍ CÍVEK** – zjistíme podle vývodu na svorkovnici. Je-li k vývodu na svorkovnici připojen konec jedné cívky, potom jsou cívky spojeny v sérii. Je-li připojeno k vývodu několik cívek, nejčastěji dvě, pak jsou cívky zapojeny paralelně, případně se jedná o zapojení do trojúhelníka nebo dvouotáčkové zapojení.
- **SPOJENÍ STATORU** – stator je spojen na věnci do hvězdy nebo trojúhelníka, nebo je šest konců vyvedeno na svorkovnici a stator je spojen až na svorkovnici.
- **DRUH VINUTÍ** – rozeznáváme: překládané, soustředné, jednovrstvé nebo dvouvrstvé, dvou a třítážové. U větších motorů existují cívky rámové a U cívky.
- **KROK VINUTÍ** – zjistíme tak, že spočítáme drážky mezi dvěma stranami cívek, včetně drážek, ve kterých jsou cívky založeny. Krok zapisujeme např. $y = 1 - 6$. Jednovrstvého vinutí musí být sudý počet. Dá se vypočítat ze vzorce $y = N_d / 2p$, kde N_d – počet drážek, $2p$ – počet pólů.
- **POČET DRÁŽEK NA PÓL A FÁZI** – celkový počet drážek podělíme počtem fází (3). Výsledek (počet drážek na fázi) podělíme počtem pólů a získáme počet drážek na pól. Zapisujeme zlomkem, kde v čitateli (nahore) je počet drážek na pól a ve jmenovateli (dole) je počet drážek na fázi. Např. $3 / 12$.
- **VÁHA VODIČE** – zvážíme vysekané vinutí.



OBRÁZEK 23 ZJIŠŤOVÁNÍ PARALERNÍCH VODIČŮ V DRÁŽCE = 2; SPOJENÍ CÍVEK = SÉRIOVÉ

VYHOTOVENÍ DRÁŽKOVÉ IZOLACE

- Dříve než přistoupíme k výrobě drážkové izolace, vyčistíme a srovnáme drážky statoru, pokud při demontáži vinutí došlo k jejich roztažení nebo deformaci.
- Drážky rovnáme klínem, střídavě ho zarážíme do sousedních drážek vedle roztažené nebo deformované drážky.
- Po vyrovnaní statoru musí být všechny mezery v horní části drážek stejné.



OBRÁZEK 24 VYROVNÁVÁNÍ DRÁŽEK

- Vyměříme drážkovou izolaci.
- Při použití starších izolačních materiálů provádíme izolaci s límečky.
- Při použití nových izolačních materiálů provádíme izolaci s přesahy.
- Přesah i límeček jsou dlouhé cca 8 mm, podle velikosti statoru.
- Nejdříve vytvoříme vzor, který musí přesně kopírovat drážku statoru.
- Vzor vytvoříme z pruhu izolačního materiálu za pomoci nůžek na papír.
- Podle vytvořeného vzoru nastříháme na tabulových nůžkách příslušný počet obdélníků z izolačního materiálu.
- Nejdříve ustříhneme delší rozměr, nastavíme doraz na kratší stranu a z pruhu izolačního materiálu nastříháme obdélníky přesně odpovídající naměřenému vzoru.
- Podle vzoru provedeme všechny ohyby přes plech nebo sklotextil, přesně nastavený ve svěráku.



OBRÁZEK 25 OHÝBÁNÍ DRÁŽKOVÉ IZOLACE PODLE VZORU

- Naohýbané drážkové izolace vkládáme do statoru.

VYMĚŘENÍ A NAVÍJENÍ CÍVEK

- Po vložení všech izolací do statoru nastříháme uzávěry drážek.
- Délka uzávěru je shodná s délkou drážkové izolace, šířka uzávěru je podle velikosti statoru 5–15 mm.
- Izolace stříháme na tabulových nůžkách.



OBRÁZEK 26 VYHOTOVENÁ DRÁŽKOVÁ IZOLACE A UZÁVĚRY DRÁŽEK

- Po vyhotovení drážkové izolace přistoupíme k vyměření cívek.
- Zjistíme **krok vinutí** – spočítáním kroku starého vinutí před demontáží, nebo výpočtem podle vzorce $y = Nd / 2p$, kde y krok vinutí, Nd počet drážek, $2p$ počet pólů.
- Čela cívky vyměříme drátem, délku ocelovým měřítkem. Čela každé cívky, v případě dvou a trojcívek, měříme zvlášť.



OBRÁZEK 27 VYMĚŘENÍ CÍVEK

- Délku zaměřeného čela cívky přeneseme na šablonu.
- Křídou označíme příslušné otvory na straně šablony, kolmé k středové drážce.
- Pravítkem zaměříme délku cívky a křídou opět označíme příslušné otvory na straně šablony, rovnoběžné se středovou drážkou.



OBRÁZEK 28 ZAKRESLENÍ VELIKOSTI CÍVKY NA ŠABLONU

- Označíme křídou otvory, kde se protnou jednotlivé zaměřené délky.
- Do těchto otvorů později vložíme kolíky, na které budeme jednotlivé cívky navíjet.
- Po vyměření cívek upneme šablonu na navíječku.
- Dvě plechové šablony upneme na trn navíječky s podložkou uprostřed.
- Šablona s označenými otvory je nasunuta na trn jako druhá, označené otvory jsou viditelné.
- Do označených otvorů nasuneme kolíky, na které budeme navíjet.
- Při navíjení dvou a trojcívek začínáme navíjet vždy od nejmenší cívky.
- Před vlastním navíjením vynulujeme počítadlo.



OBRÁZEK 29 UPNUTÍ ŠABLONY NA NAVÍJEČKU

- Založíme začátek první cívky do čela blíže ke kolu navíječky.
- Cívku s vodičem máme postavenou na zemi přímo pod šablonou.
- Vodič odvíjíme přes čelo cívky.
- Cívky navíjíme přes parafín, jednotlivé cívky svazujeme na obou čelech vázacími dráty.
- Počet navinutých závitů sledujeme na počítadle.
- První navinutou cívku hned vložím do statoru a tím prakticky ověřím správnost vyměření.



OBRÁZEK 30 NAVÍJENÍ CÍVEK



OBRÁZEK 31 NAVINUTÁ CÍVKA – TROJCÍVKA

VKLÁDÁNÍ CÍVEK DO STATORU

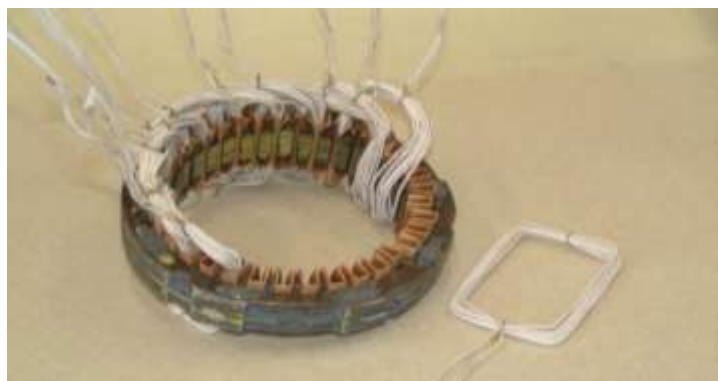
- Před vlastním vkládáním cívku vytvarujeme.
- Prohneme čela cívky do oblouku, neděláme ostré ohyby. Z tenké lepenky vytvoříme „trychtír“, přes který cívku za pomoci přípravku z pertinaxu nebo dřeva vkládáme do drážek.
- U dvou a trojcívek začínáme od nejmenší cívky.
- Založíme jednu stranu, potom napočítáme krok a zakládáme druhou stranu cívky.

- Opět začínáme od nejmenší cívky.
- Každou vloženou cívku uzavřeme uzávěrem.
- Při vkládání cívek soustředného vinutí zakládáme hned druhou stranu cívky.
- Další cívku zakládáme vedle a tvoříme první vrstvu vinutí.
- Druhou vrstvu zakládáme do mezer a cívky ukládáme na cívky první vrstvy.



OBRÁZEK 32 VKLÁDÁNÍ CÍVEK SOUSTŘEDNÉHO VINUTÍ

- U překládaného vinutí zakládáme druhou stranu cívek až po překlenutí kroku vinutí. Např.: Při kroku $y = 1 - 6$ zakládáme druhou stranu až u třetí vložené cívky. Druhé strany prvních dvou cívek zakládáme až jako poslední a tím uzavřeme věnec.
- Další cívku zakládáme u jednovrstvého vinutí přes jednu drážku. Druhou stranu zakládáme do vynechaných mezer.
- U dvouvrstvého vinutí zakládáme další cívku hned do sousední drážky. Druhou stranu zakládáme nahoru a tvoří druhou vrstvu.
- Pokud je překládané vinutí správně založeno, nepoznáme, kde se začalo zakládat.



OBRÁZEK 33 VKLÁDÁNÍ CÍVEK PŘEKLÁDANÉHO VINUTÍ

- **Bezpečnost práce**
- Cívky vkládáme volnými konci od sebe, hrozí nebezpečí poškození očí.
- Po vložení všech cívek a vytvarování věnce provedeme prokladovou izolaci.

PROKLADOVÁ IZOLACE A BANDÁŽOVÁNÍ

- Prokladová izolace má za úkol oddělit od sebe dvě sousední cívky.
- U soustředného vinutí zasuneme jednotlivé izolace ve tvaru obdélníků po obvodu mezi jednotlivé cívky.
- U překládaného vinutí má izolace tvar měsíčků.
- Nejdříve opět vytvoříme vzor. Podle vzoru nastříháme na tabulových nůžkách jednotlivé izolace, které nůžkami upravíme do tvaru měsíčků.
- Bandážování provádíme bandážovací páskou.
- Ustříhneme příslušnou délku bandážovací pásky a z drátu vyrobíme jehlu.
- Navlečeme jehlu a provlékáme pásku okolo věnce. Jehlu vkládáme mezi cívky z vnější strany a pásku pevně utahujeme.
- Smyslem bandáže je držet prokladovou izolaci mezi příslušnými cívkami, zpevnit věnec a eliminovat pohyby vlivem elektrodynamických sil.
- U velkých motorů se věnce vyvazují ke kruhům z izolačního materiálu.
- Po zabandážování strany proti koncům stator otočíme a na straně konců provedeme prokladovou izolaci.
- Takto upravený stator je připravený k zapojování.



OBRÁZEK 34 ZABANDÁŽOVANÝ VĚNec STATORU PŘEKLÁDANÉHO VINUTÍ



OBRÁZEK 35 PROKLADOVÁ IZOLACE SOUSTŘEDNÉHO VINUTÍ

ZAPOJOVÁNÍ CÍVEK

- Po zabandážování zadní strany stator otočíme a na straně konců provedeme prokladovou izolaci.
- Odstraníme vázací dráty cívek a vytáhneme začátky a konce cívek, aby bylo patrné, do které drážky vstupují.
- Podle příslušného schématu provedeme zapojení cívek, nejdříve pouze smotáním konců.
- Pokud zapojení odpovídá, vytvoříme vlastní spojky. V opačném případě konce rozmotáme a zapojení opakujeme.
- Vlastní spojku provedeme následujícím způsobem:
- Na obě strany spojky navlečeme izolační trubičku o málo silnější, než je průměr vodiče.
- Na jednu stranu spojky navlékneme silnější trubičku pro přetažení spojky.
- Nožem nebo nůžkami očistíme konce od laku a stočíme je.
- Spojka by měla být stočená v délce dvou až tří centimetrů. Přebytečný vodič ustříhneme.
- Spojky svaříme uhlíkovou svářečkou nebo spájíme cínem. V obou případech dbáme na správné spojení všech vodičů.

- Po spojení spojek přetáhneme izolační trubičku a spojky uložíme na věnec.
- Začátky a konce vinutí připojíme k vývodům na svorkovnici.
- Začátky fází jsou barevně odlišeny od konců.
- Napojení lanka a vodiče pro vinutí provedeme následovně: Ovineme od smaltu očištěný vodič kolem zdrhnutého lanka směrem od izolace nahoru a spojku zavaříme nebo spájíme.
- Po zapojení cívek věnec zabandážujeme.



OBRÁZEK 36 ZAPOJENÝ STATOR SOUSTŘEDNÉHO VINUTÍ

KONEČNÉ ÚPRAVY A ODZKOUŠENÍ VINUTÍ

- Po zabandážování motoru upravíme věnce.
- Věnce vytvarujeme tak, aby šel do statoru vložit rotor bez toho, aby se dotýkal vinutí.
- Rovněž musí jít nasadit víka motoru a nesmí se dotýkat vinutí.
- Tvarování provádíme za pomoci gumové paličky, dřevěných přípravků a dřevěných klínů.
- Po vytvarování vinutí odzkoušíme.
- Provedeme zkoušku izolačního stavu. Můžeme měřit megmetem – fáze mezi sebou a mezi fázemi a kostrou.
- Vhodnější je provést zkoušku zvýšeným napětím.
- Zvýšené napětí počítáme podle vzorce: $U_{zk} = 2U_{jm} + 1000$ (ČSN 340010)
- Případná porucha se projeví jiskřením v místě průrazu.

- Po odzkoušení zvýšeným napětím motor složíme a připojíme na síť přes autotransformátor.
- Najíždíme až na jmenovité napětí a měříme proudy ve třech fázích.
- Pokud jsou proudy souměrné a odpovídají jmenovité hodnotě na štítku motoru, je motor v pořádku.
- V opačném případě musíme najít a odstranit závadu.
- Možné vady při nesouměrných proudech v jednotlivých fázích:
- Chyba při zapojování cívek - špatně vybrané schéma zapojení, špatně provedené zapojení, špatně svařené nebo spájené cívky.
- Chyba při zapojování svorkovnice motoru – zaměnění začátku za konec v jedné fázi.
- Přerušení jedné fáze.
- Po odstranění všech závad motor demontujeme a naimpregnujeme.



OBRÁZEK 37 ZKOUŠENÍ IZOLAČNÍHO STAVU

IMPREGNACE

-
- Před vlastní impregnací motor odzkoušíme a odstraníme možné nedostatky.
 - Zkontrolujeme vytvarování věnců a uzávěry drážek.
 - Uzávěry drážek nesmí vystupovat do prostoru pro rotor. Pokud tak činí, je třeba je zatlačit přípravkem, případně drážky zaklínovat klíny ze dřeva nebo jiného izolačního materiálu.



OBRÁZEK 38 ZATLAČENÍ UZÁVĚRŮ PŘÍPRAVKEM



OBRÁZEK 39 PŘÍPRAVKY NA ZATLAČENÍ UZÁVĚRŮ DRÁŽEK

- Vlastní impregnaci provádíme napuštěním vinutí impregnačním lakem.
- To lze provést **máčením** v nádobě s impregnačním lakem, **zakapáváním** impregnačního laku do vinutí (pokud z nějakého důvodu nelze máčet) nebo **vakuovou impregnací**.
- Vakuová impregnace probíhá v několika operacích:
- Vložení impregnovaných výrobků do vakuové pece.
- Uzavření pece, vysušení výrobků a vyčerpání vzduchu.
- Napuštění impregnačního laku – zaplavení vinutí.
- Zrušení vakua a vytvoření přetlaku nad hladinou laku – tím docílíme dokonalého prolakování.
- Vypuštění laku a vysušení impregnovaného vinutí.
- Proč impregnujeme:

- Zlepšíme izolační vlastnosti vinutí – lak tvoří další vrstvu izolace.
- Zlepšíme mechanickou pevnost – lak zpevní vinutí, zamezí pohybu vlivem elektrodynamických sil.
- Zlepšíme odvod tepla – kompaktní vinutí vykazuje lepší chlazení.
- Po vlastní impregnaci očistíme opracované části od zaschlých kapek laku, otvory se závity protočíme závitníkem a motor složíme.
- Při skládání motoru postupujeme velice opatrně.
- Při vkládání rotoru nesmíme používat hrubé násilí, jinak hrozí poškození vinutí.
- Pokud rotor do statoru nelze vsunout, je třeba stator nahřát, lak změkne a lze ho opatrně vytvarovat.



OBRÁZEK 40 SLOŽENÝ ELEKTROMOTOR

1.1.13 SCHÉMA ZAPOJENÍ ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ

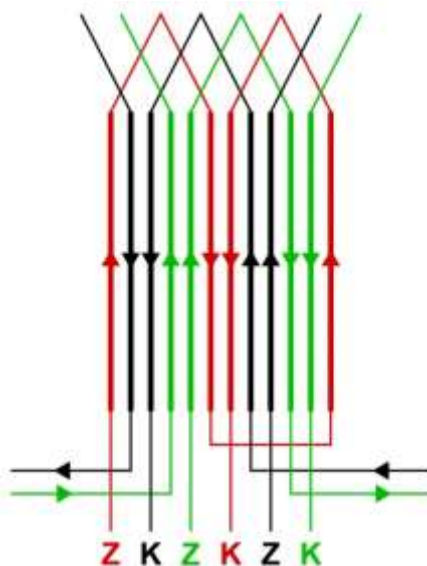
Při zapojování asynchronních elektromotorů používáme dva druhy schémat – **rozvinutý plášť** a **čelní pohled na stator**. Použití každého schématu má svoje výhody a nevýhody. Rozvinutý plášť si můžeme představit tak, jako když stator rozřízneme a narovnáme. Velmi dobře se kreslí, ale hůř se podle něj zapojuje – vyžaduje jistou dávku představivosti. Čelní pohled na stator je náročnější na nakreslení, ale dobře se podle něj zapojuje – je názornější. U každého zapojení budeme používat oba druhy schémat.

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

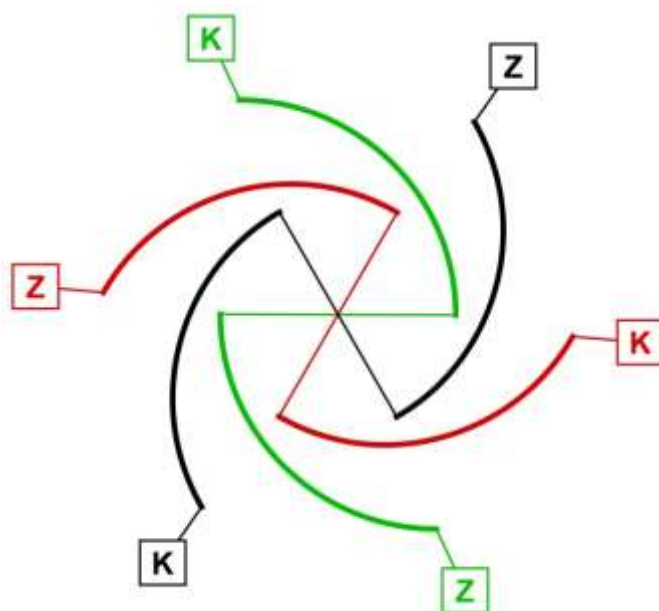
$$ND = 12, 2P = 2, Y = 1-6$$

Vinutí jednovrstvé, překládané.

Rozvinutý plášť



Čelní pohled na stator



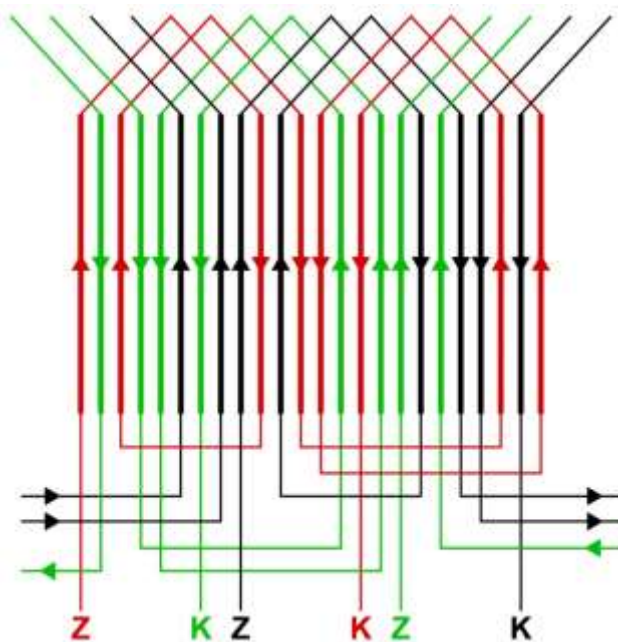
OBRÁZEK 41 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR $ND = 12, 2P = 2, Y = 1 - 6$, VINUTÍ JEDNOVRSTVÉ PŘEKLÁDANÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

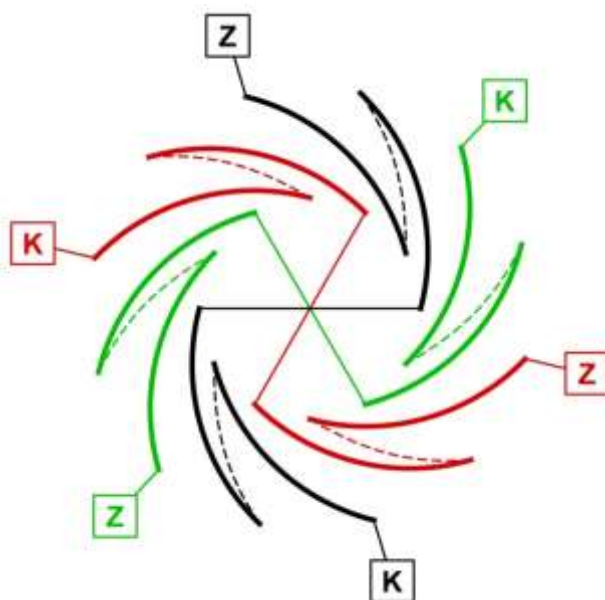
ND = 24, 2P = 2, Y = 1-10

Vinutí jednovrstvé, překládané.

Rozvinutý plášť



Čelní pohled na stator



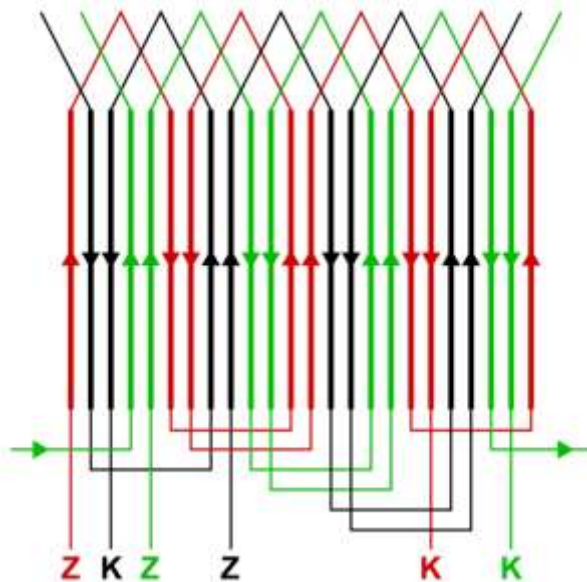
OBRÁZEK 42 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR ND = 24, 2P = 2, Y = 1 -10, VINUTÍ JEDNOVRSTVÉ PŘEKLÁDANÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

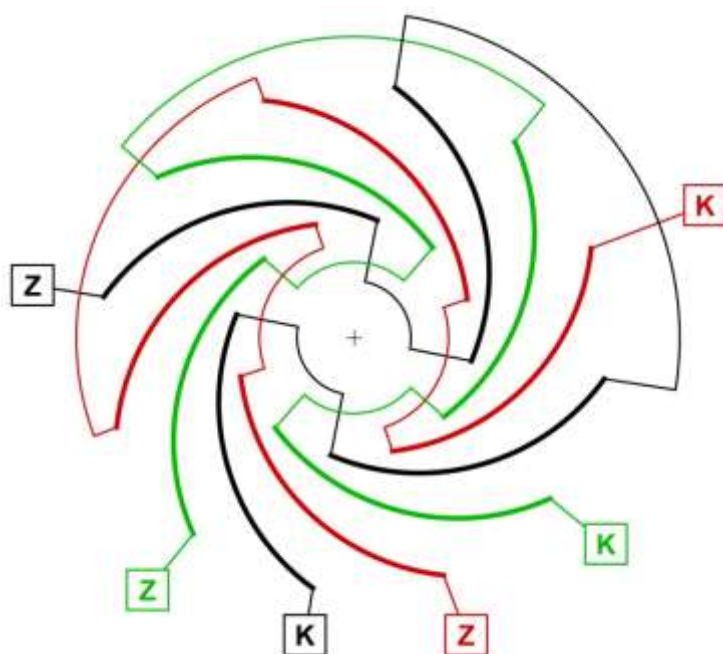
$$ND = 24, 2P = 4, Y = 1-6$$

Vinutí jednovrstvé, překládané.

Rozvinutý plášť



Čelní pohled na stator



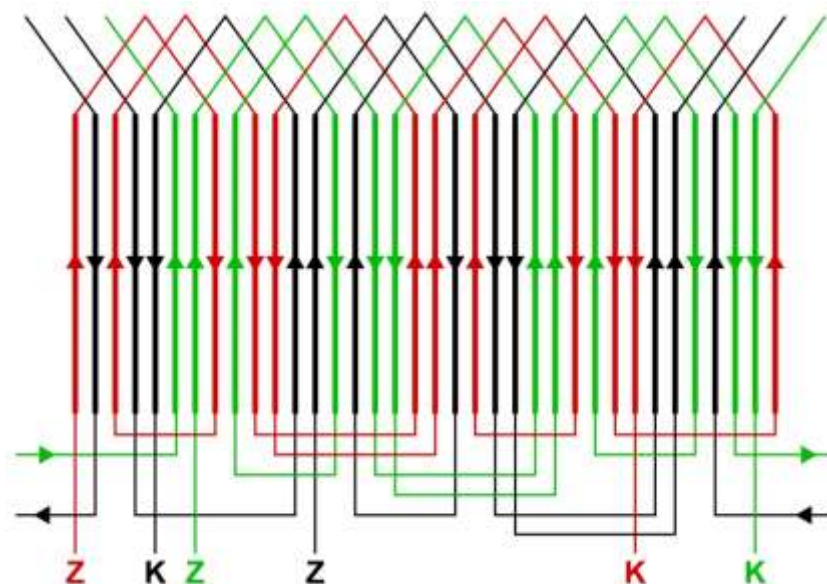
OBRÁZEK 43 TŘÍFÁZOVÉ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR ND = 24, 2P = 4, Y = 1 – 6, VINUTÍ JEDNOVRSTVÉ PŘEKLÁDANÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

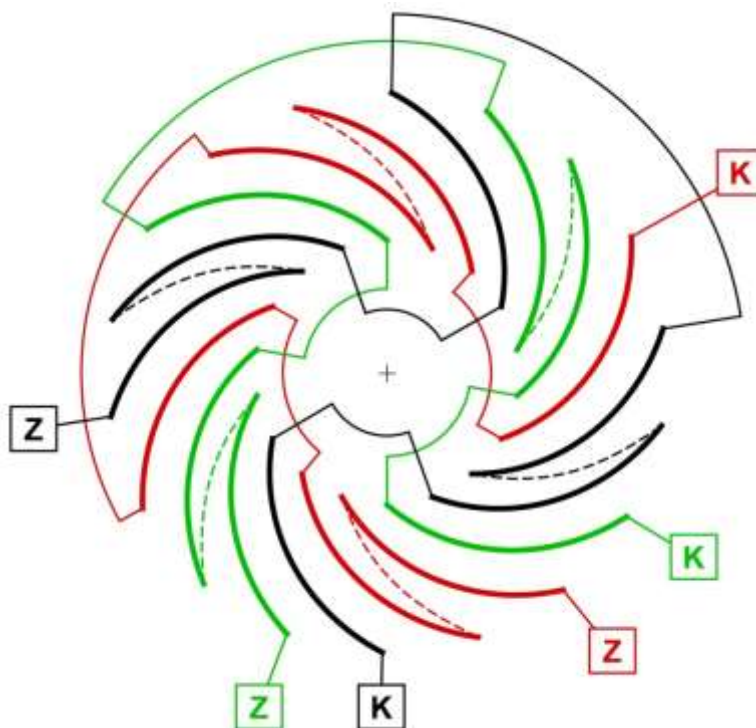
$$ND = 36, 2P = 4, Y = 1-8$$

Vinutí jednovrstvé, překládané.

Rozvinutý plášť



Čelní pohled na stator



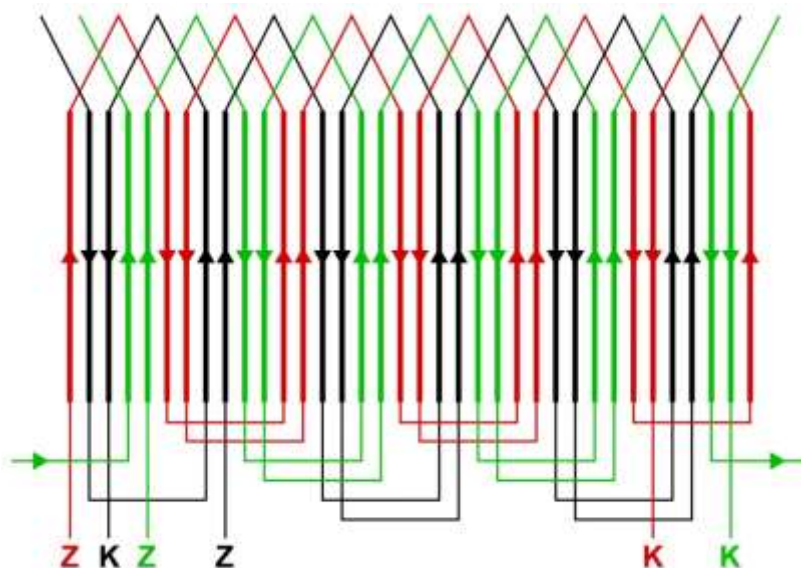
OBRÁZEK 44 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR $ND = 36, 2P = 4, Y = 1 - 8$, VINUTÍ JEDNOVRSTVÉ PŘEKLÁDANÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

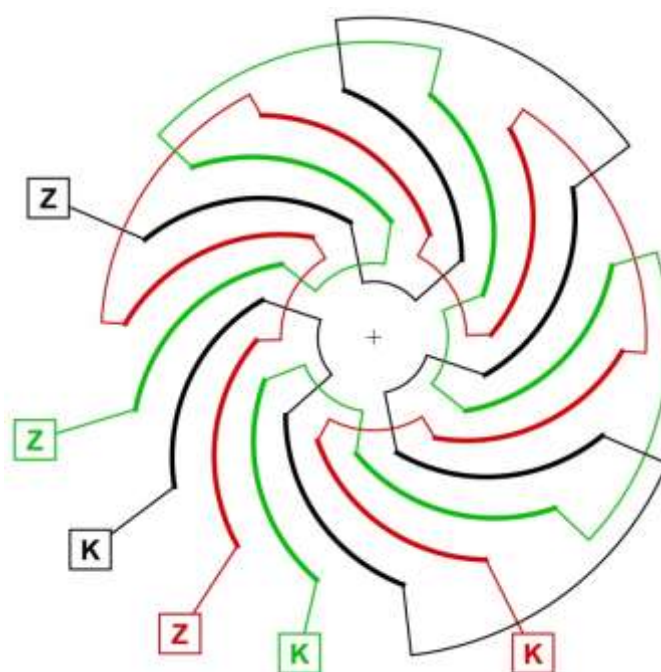
$$ND = 36, 2P = 6, Y = 1-6$$

Vinutí jednovrstvé, překládané.

Rozvinutý plášť



Čelní pohled na stator



OBRÁZEK 45 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR $ND = 36, 2P = 6, Y = 1 - 6$, VINUTÍ JEDNOVRSTVÉ PŘEKLÁDANÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

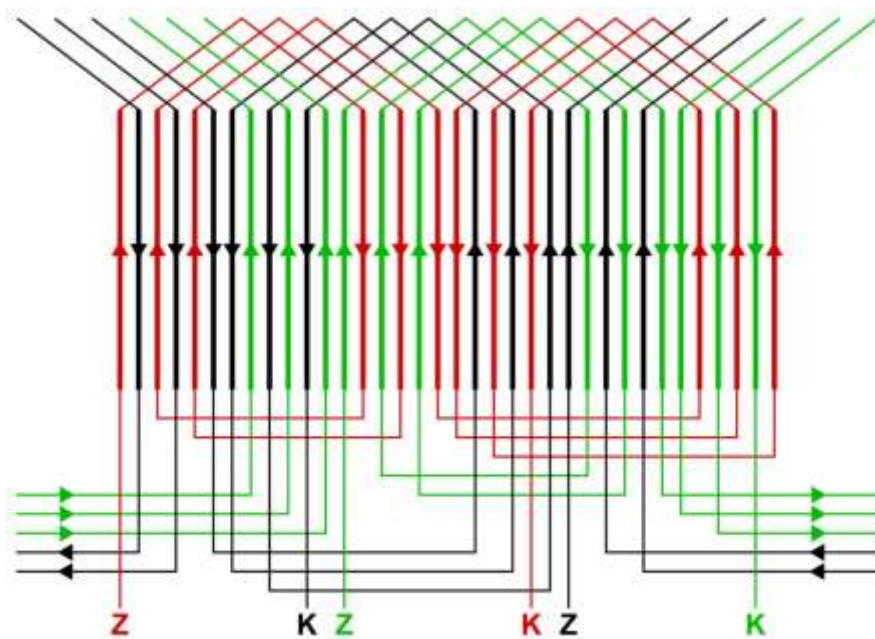
$$ND = 36, 2P = 2, Y = 1-14$$

Vinutí jednovrstvé, překládané.

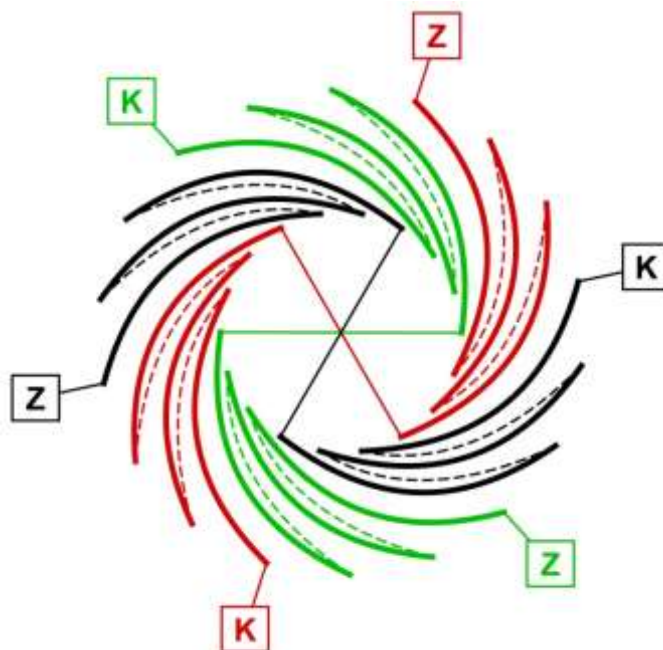
Krok vinutí můžeme zkrátit až o $1/3$.

Možné kroky vinutí: $y = 1-18, 1-16, 1-14$

Rozvinutý plášť



Čelní pohled na stator



OBRÁZEK 46 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR $ND = 36, 2P = 2, Y = 1 - 14$, VINUTÍ JEDNOVRSTVÉ PŘEKLÁDANÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

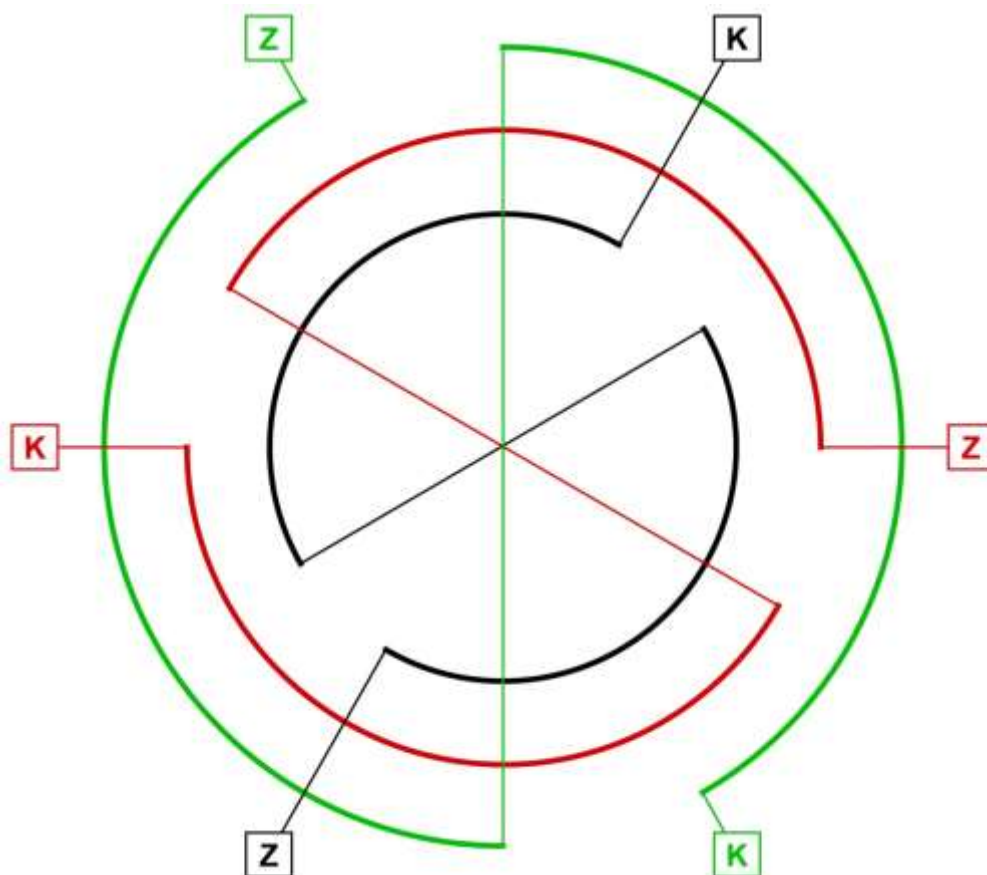
$$ND = 12, 2P = 2, Y = 1-6$$

Vinutí jednovrstvé, soustředné.

Pro **Nd = 24**: $y = 1-10, 1-12$

Pro **Nd = 36**: $y = 1-14, 1-16, 1-18$

Čelní pohled na stator



OBRÁZEK 47 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR $ND = 12, 2P = 2, Y = 1 - 6$, VINUTÍ SOUSTŘEDNÉ

TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

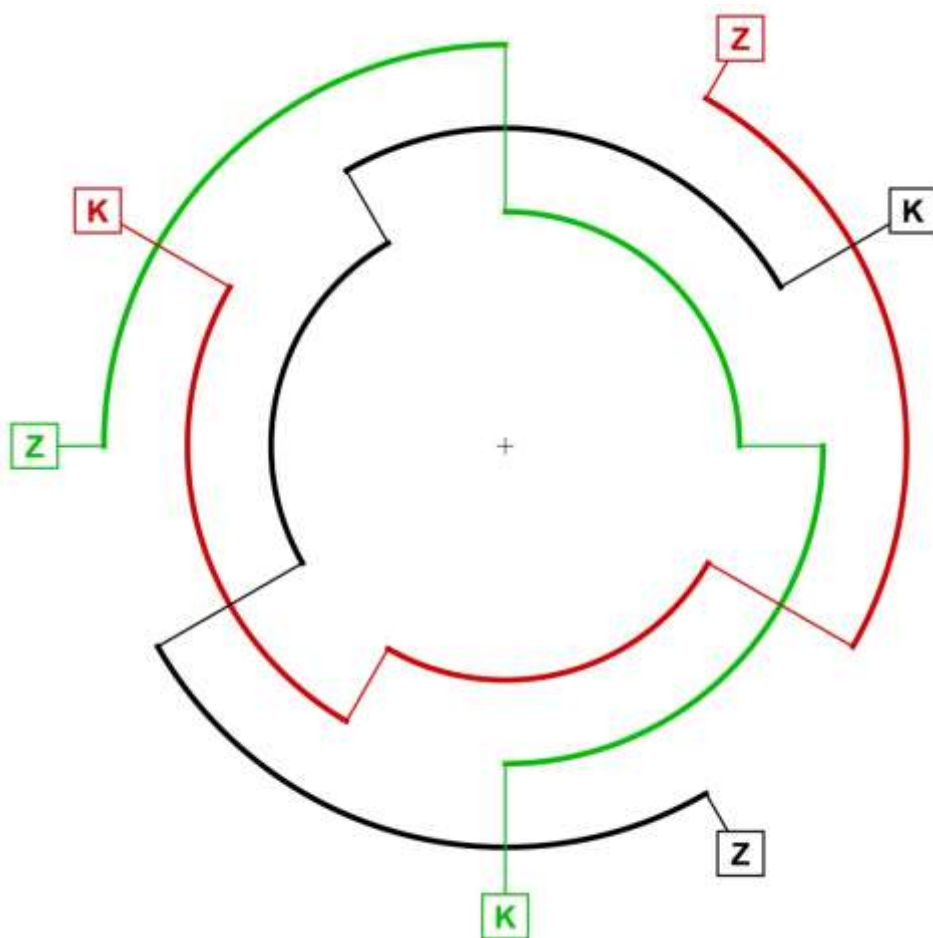
ND = 12, 2P = 4, Y = 1-4

Vinutí jednovrstvé, soustředné.

Pro **Nd** = **24**: $y = 1-6, 1-8$

Pro **Nd** = **36**: y = 1-8, 1-10, 1-12

Čelní pohled na stator



OBRÁZEK 48 TŘÍFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR ND = 12, 2P = 4, Y = 1 – 4, VINUTÍ SOUSTŘEDNÉ

JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

$$ND = 8, 2P = 2$$

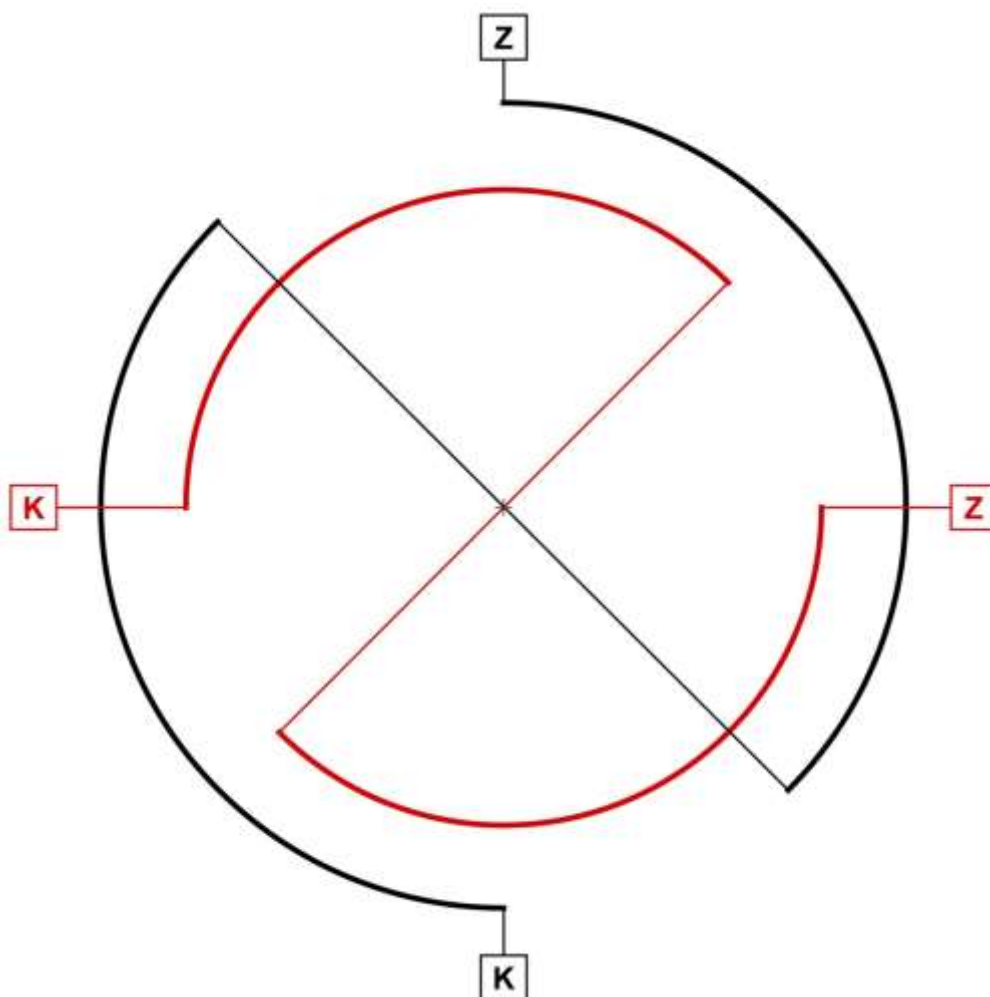
Vinutí jednofázových asynchronních elektromotorů s pomocnou fází.

S počtem drážek se jednocívky mění na dvojčívky, trojčívky, ...

Průměr vodiče a počet závitů v hlavní a pomocné fázi bývá rozdílný.

Počty vodičů se mohou lišit i v jednotlivých drážkách.

Čelní pohled na stator



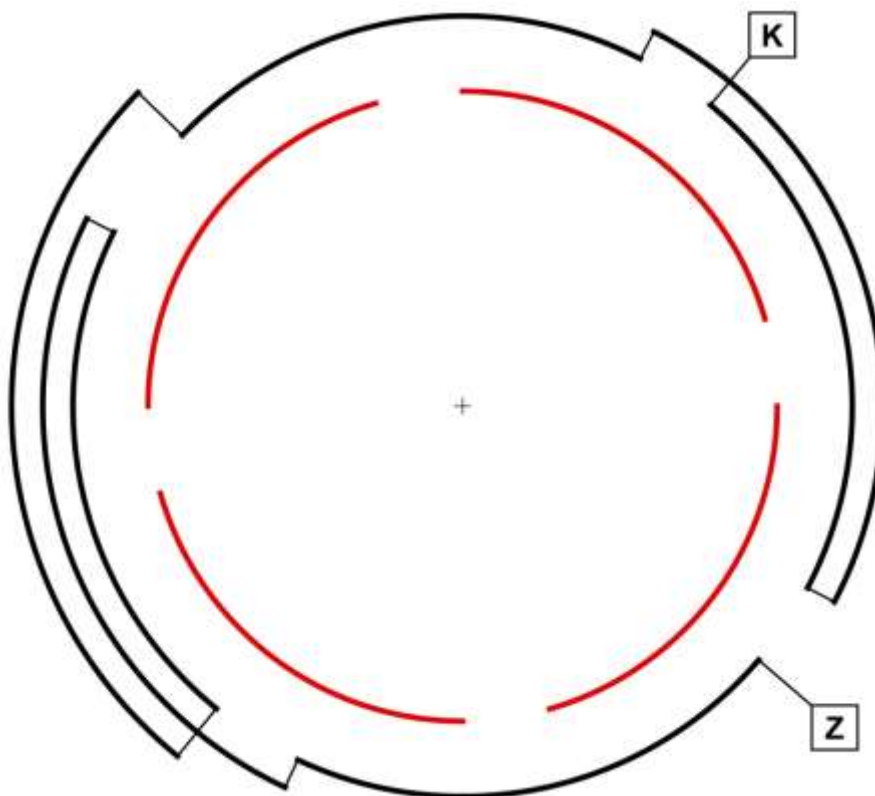
OBRÁZEK 49 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR $ND = 8, 2P = 2$

JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR:

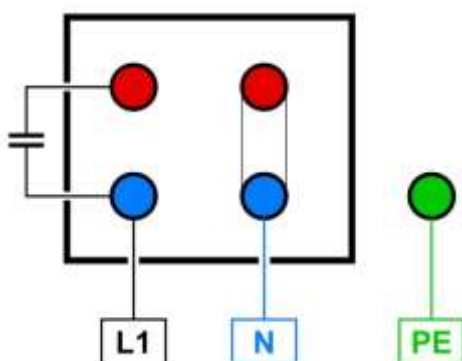
$$ND = 16, 2P = 16$$

Pomocná fáze je zapojena stejně jako fáze hlavní.

Čelní pohled na stator



Svorkovnice jednofázového elektromotoru



OBRÁZEK 50 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR ND = 16, 2P = 4, SVORKOVNICE
JEDNOFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU

1.2 SYNCHRONNÍ STROJE

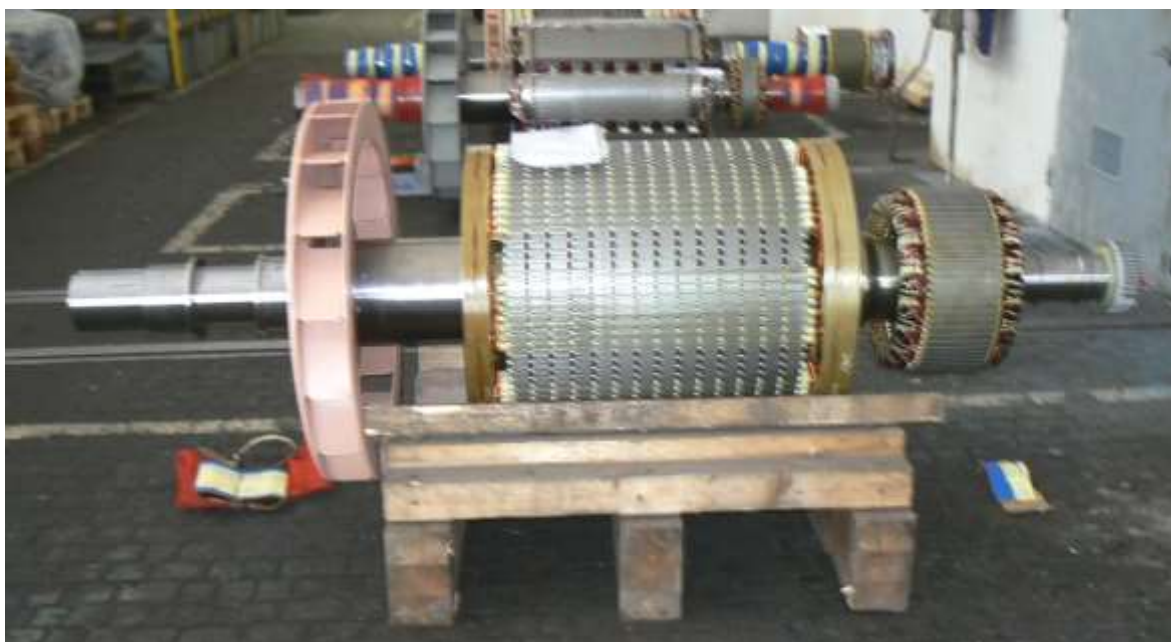
Synchronní stroje tvoří skupinu strojů určených především k výrobě elektrické energie – alternátorů, dále synchronní motory určené k pohonu velkých zařízení a krokové synchronní motorky.

1.2.1 KONSTRUKCE

Stator synchronního stroje je složen z elektrotechnických od sebe vzájemně odizolovaných plechů síly 0,5 mm s drážkami na vnitřní straně. V drážkách je izolovaně uloženo třífázové vinutí vyvedené na svorkovnici. Stator synchronního stroje se tudíž neliší od stroje asynchronního.

Rotor synchronního stroje je tvořen z magneticky měkké oceli. Rozeznáváme **rotor hladký** – má vyfrézované drážky a v nich uloženo stejnosměrné vinutí, používá se např. u turboalternátoru, a rotor s **vyniklými póly** – má k rotoru přišroubované pólové nástavce a na nich stejnosměrné vinutí. Začátky vinutí jsou klasicky vyvedeny na dva kroužky a konce spojeny do uzlu. Jsou i stroje, které mají stejnosměrné vinutí rotoru přímo spojené s budičem umístěným na jedné hřídeli.

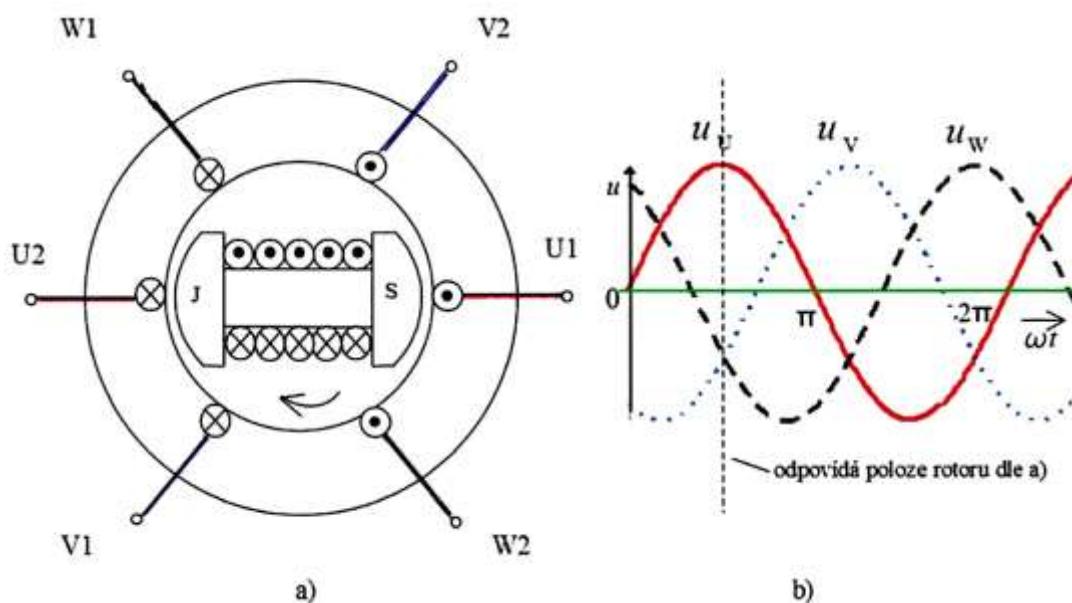
Některé synchronní motory mají rotor složen z plechů, v nich kromě stejnosměrného vinutí ještě klasickou klec určenou pro rozběh motoru.



OBRÁZEK 51 ROTOR SYNCHRONNÍHO STROJE S BUDIČEM

1.2.2 PRINCIP

Princip generátoru Turbína otáčí rotorem rychlostí stanovenou na základě počtu pólů alternátoru. Rotor je buzen stejnosměrným proudem, který vytvoří magnetické pole rotoru. Toto magnetické pole protíná třífázové vinutí statoru a ve statoru indukuje třífázové elektromotorické napětí. Kmitočet třífázového napětí je dán otáčkami rotoru. Odebíraný výkon lze regulovat změnou budicího proudu.



OBRÁZEK 52 A) PRINCIP ČINNOSTI ALTERNÁTORU, B) PRŮBĚH INDUKOVANÝCH NAPĚTÍ V CÍVKÁCH KOTVY

Princip motoru

Stator synchronního motoru je napájen třífázovým proudem. Tento proud vytvoří ve statoru točivé magnetické pole stejně jako u asynchronního elektromotoru.

Rotor roztočíme na rychlost blízkou synchronní, pro daný počet pólů příslušného motoru. Do vinutí rotoru připojíme buzení stejnosměrným proudem. Motor vběhne do synchronních otáček – stejnosměrné magnetické pole vytvořené v rotoru sleduje statorové točivé pole. Při přetížení dojde ke zbrzdění motoru, ten vypadne ze synchronních otáček a zastaví se. Roztočení na otáčky blízké synchronním můžeme provést asynchronním elektromotorem, častěji úpravou rotoru, do kterého je přidána kotva nakrátko. Tento motor se rozbíhá jako asynchronní, po rozběhu motor vběhne do synchronních otáček a dále pracuje jako motor synchronní. Při rozbíhání je třeba zařadit do obvodu budicího vinutí činný odpor, který zabrání přebuzení motoru. Po rozběhu se odpor zkratuje.

1.2.3 POUŽITÍ SYNCHRONNÍCH STROJŮ

Synchronní stroje mají nejširší oblast využití jako stroje na výrobu elektrické energie – **alternátory**. Podle typu elektráren, ve kterých pracují, rozeznáváme:

- **Hydroalternátory** – využívají se ve vodních elektrárnách. Poznáme je podle konstrukce – mají krátký stator velkého průměru. V něm je uloženo vinutí o velkém počtu pólů. To proto, že vodní turbíny, které hydroalternátor pohání, dosahují nižších otáček než synchronních otáček pro dvoupólový stroj. Kmitočtu 50 Hz dosahujeme tudíž zvýšeným počtem pólů.
- **Turboalternátory** – využívají se v tepelných (atomových) elektrárnách. Mají dlouhý stator malého průměru, v něm dvoupólové vinutí. Poháněny jsou parní turbínou o synchronních otáčkách.
- **Alternátory pro automobilový průmysl** – tvoří skupinu alternátorů určených jako zdroj elektrické energie pro silniční vozidla, kde nahradily dříve používaná dynama. Výstupní napětí je usměrněno třífázovým usměrňovačem a připojeno na stejnosměrnou soustavu automobilu. Nestejnosměrné otáčky motoru automobilu, který pohání alternátor, se projeví jako kolísající kmitočet na výstupu alternátoru, který usměrníme. U dynam se kolísající otáčky projeví jako změna napětí, které bylo třeba regulovat.



OBRÁZEK 53 ŘEZ ALTERNÁTOREM PRO OSOBNÍ AUTOMOBIL

Synchronní alternátory mohou pracovat jako „ostrovní zdroje“ – bez přívodu elektrické energie. Při připojování na síť je třeba „fázovat“ – to znamená zajistit:

- stejný sled fází napětí alternátoru a sítě
- stejné efektivní hodnoty napětí alternátoru a sítě
- stejný kmitočet napětí alternátoru a sítě

- v okamžiku připojení k síti stejné okamžité hodnoty napětí alternátoru a sítě.

Nesplnění některé z těchto podmínek vede k velkým proudovým a mechanickým rázům, které by mohly zničit alternátor. K zajištění těchto podmínek se využívá automatických rychlofázovačů.

Synchronní motory – využívají se jako motory o velkém výkonu na pohon např. válcovacích stolic a podobných zařízení. Obrát ve využití synchronních strojů středních a malých výkonů přinesla aplikace permanentních magnetů ze speciálních slitin, tzv. vzácných zemin. Synchronní motory s těmito magnety (PMSM) se již více než deset let ve velké míře využívají v servopohonech o výkonech od stovek wattů do desítek kilowattů. Pro své příznivé vlastnosti se synchronní stroje s permanentními magnety v poslední době začínají intenzivně využívat i v dopravních prostředcích.

Naprázdo běžící synchronní motor se používá jako **kompenzátor**. Spotřebovává jalovou složku a vylepšuje účinník sítě.

Další oblast využití synchronních elektromotorů je oblast automatizace – **krokové motorky**.

Podle konstrukčního provedení se krokové motory rozdělují do čtyř skupin:

- **Pasivní krokové motory** – někdy označované jako reluktanční, nebo krokové motory s proměnnou reluktancí; v anglicky psané literatuře jsou uvedeny pod zkratkou VR nebo VRM – Variable reluctance Motors. Rotor tohoto typu krokového motoru je tvořen vyniklými póly z magneticky měkkého materiálu.
- **Aktivní krokové motory** – neboli krokové motory s aktivním rotorem, někdy označované jako krokové motory s radiálně polarizovaným permanentním magnetem; v anglické literatuře označované zkratkou PM – Permanent Magnet. Rotor tohoto typu je tvořen permanentním magnetem, po obvodu rotoru se střídajícím se severním a jižním pólem permanentního magnetu.
- **Hybridní krokové motory** – jinak nazývané aktivními krokovými motory s axiálně orientovaným permanentním magnetem; v anglické literatuře označené HB-Hybrid. Jde o speciální druh aktivních krokových motorů, jejichž rotor je tvořen axiálně uloženým permanentním magnetem, na jehož koncích (severním a jižním pólu) jsou umístěny feromagnetické pólové nástavce. Jedná se tedy o jakousi kombinaci obou předcházejících typů krokového motoru.
- **Lineární krokové motory** - jsou druhem strojů, které vykonávají nespojitý posuvný pohyb. Stator tohoto motoru je rozvinut do přímky.

Zapojení statoru u klasických synchronních strojů je prakticky shodné jako zapojení asynchronních strojů. Lze použít schéma a postupy, které jsou uvedeny výše u asynchronních strojů.

Zapojení rotoru – u synchronních strojů rozeznáváme dva základní typy rotoru:

- **Rotor s vyniklými póly** má čtyři a více pólů. Póly jsou usazeny na hřídeli. Na pólech je nasazeno budicí vinutí, které se u velkých motorů zhotovuje z holého měděného pásu, ohýbaného na výšku a prokládaného izolací. Vinutí pólů se spojuje do série.
- **Hladký rotor** je vykován včetně hřídele z jednoho kusu oceli. Obvykle mívá dva, výjimečně až čtyři póly. Pro založení budicího vinutí jsou ve válci podélné drážky. Vinutí je tvořeno mnoha závity plochého měděného vodiče a drážky jsou uzavřeny bronzovými nebo duralovými klíny, které spolu s tělesem rotoru vytvářejí tlumič.

Budicí soustavy

Zdroj budicího proudu pro rotorové vinutí dále plní funkce potřebné pro správný rozběh a brzdění motoru nebo dodávaný výkon alternátoru.

Kroužkové budicí soustavy

- **Rotační budič** je derivační dynamo mechanicky spojené s hřídelí buzeného stroje nebo pracující samostatně. Používá se též dynamo s cizím buzením, buzené z výstupu řízeného usměrňovače napájeného ze sítě. Jedná – li se o těžký rozběh motoru, je do série s budicím vinutím zařazen rozběhový činný odpor, jež se po rozběhu zkratuje.
- **Řízený usměrňovač** je napájený přes oddělovací transformátor ze sítě. Budicí proud je automatickou regulací udržován v žádané hodnotě.
- **Kompaudační soustava** – neřízený usměrňovač napájený ze speciálního trojfázového kompaudačního transformátoru. Tento transformátor má pro každou fázi tři vinutí. Jedno je připojeno přes reaktor a paralelní kondenzátor k napájecí síti motoru, druhé je protékáno statorovým proudem a třetí je spojeno s fází usměrňovače. Tato soustava samočinně přizpůsobuje budicí proud motoru změnám zatížení.

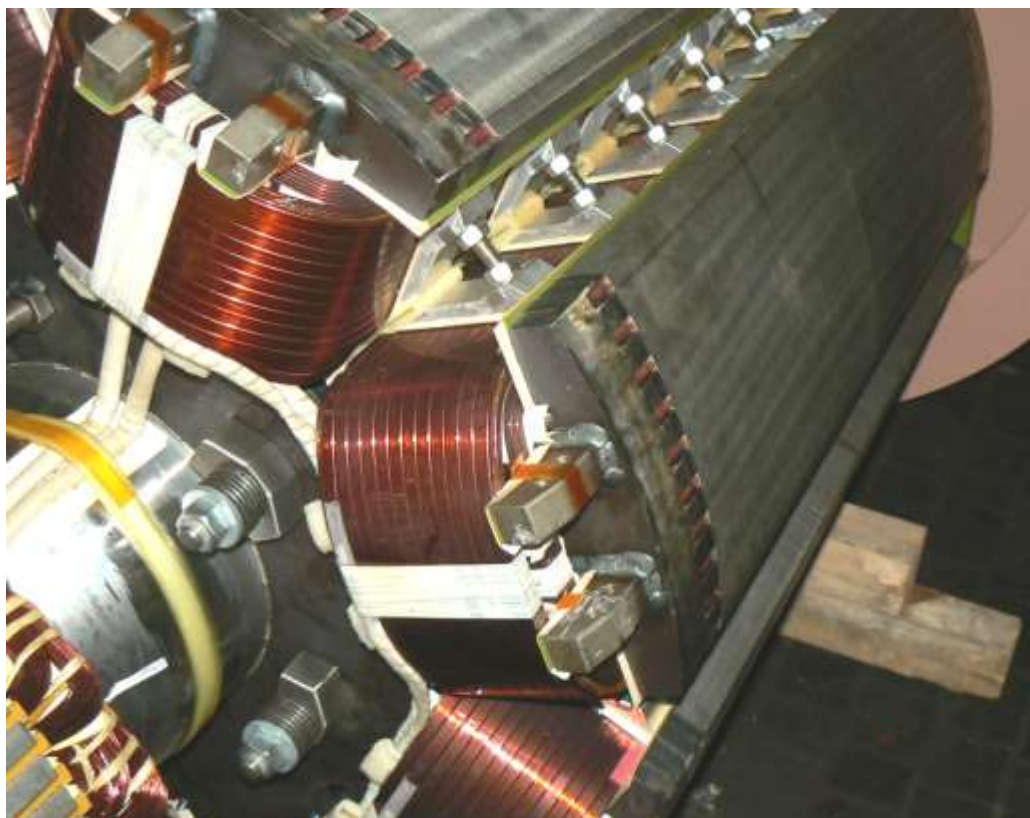
Bezkroutkové budicí soustavy

- **Střídavý budič a rotující usměrňovač** mají buzení ze synchronního generátoru s vyniklými póly na statoru. Jeho rotor s třífázovým vinutím je spojen s hřídelí motoru. Vinutí generátoru napájí neřízený usměrňovač umístěný na hřídeli motoru a připojený na budicí vinutí motoru.
- **Neřízený usměrňovač a rotační transformátor** je napájený do pevného primárního vinutí z trojfázového střídavého měniče (antiparalelní tyristorové spínače). S hřídelí motoru spojené rotující sekundární vinutí transformátoru je připojeno přes neřízený jednofázový můstkový usměrňovač k budicímu vinutí motoru.
- **Budič s protiběžným polem** – budičem je trojfázový indukční motor s vinutým rotorem pracujícím v režimu brzdy. Stator je napájen ze sítě vlastní spotřeby přes trojfázový střídavý měnič; rotorové vinutí je připojeno na rotující neřízený usměrňovač dodávající budicí proud motoru. Do rotorového vinutí se indukují jak transformační, tak rotační složka napětí, takže je možno motor nabudit v klidu.

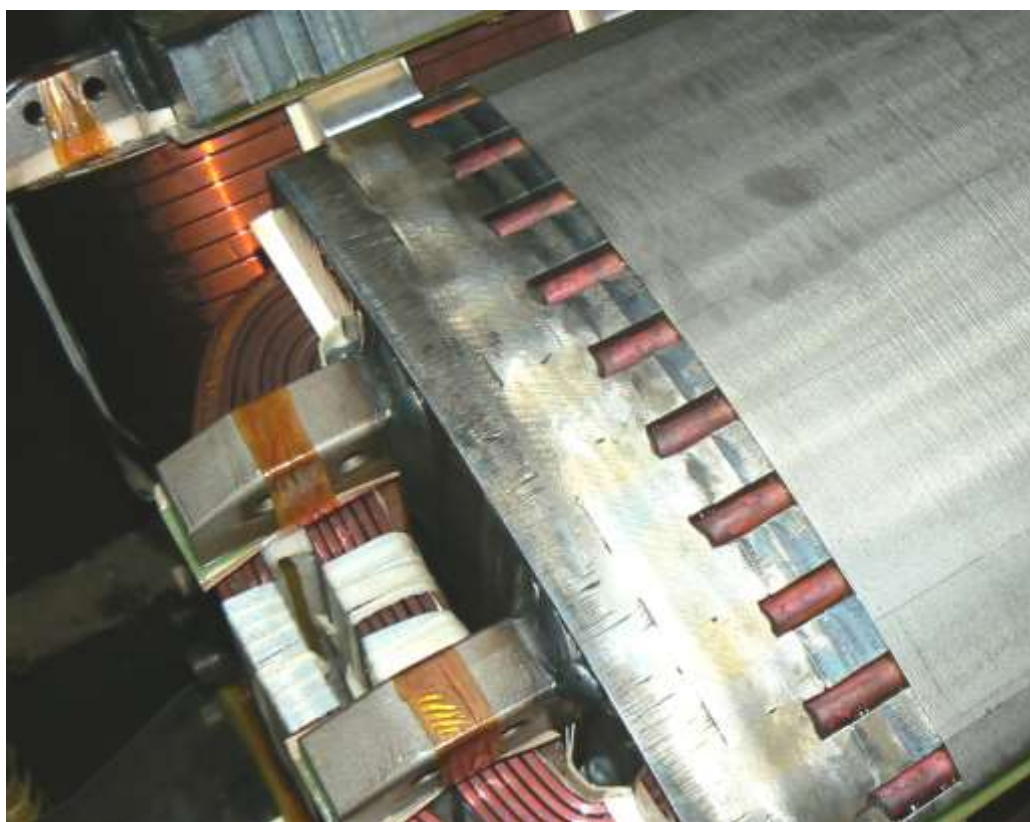
Krokové motorky – stator motoru je nejčastěji čtyřfázový, osmipólový, rotor má zuby bez vinutí, nebo jsou na rotoru permanentní magnety – motor s aktivním rotorem.



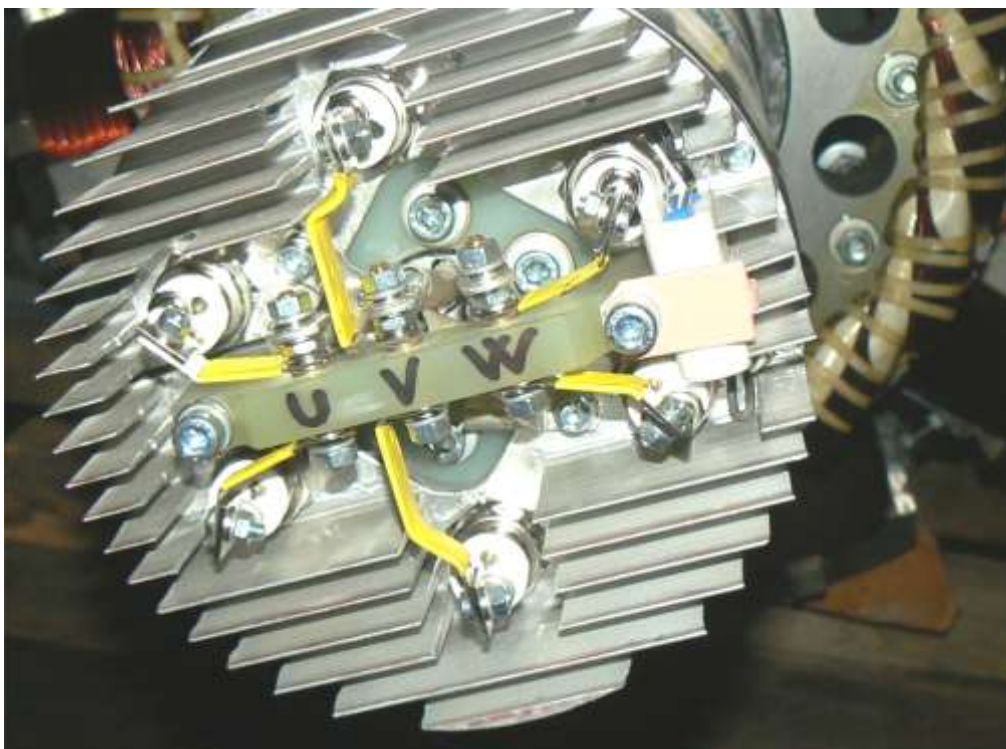
OBRÁZEK 54 PEGANENTNĚ BUZENÝ SYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR



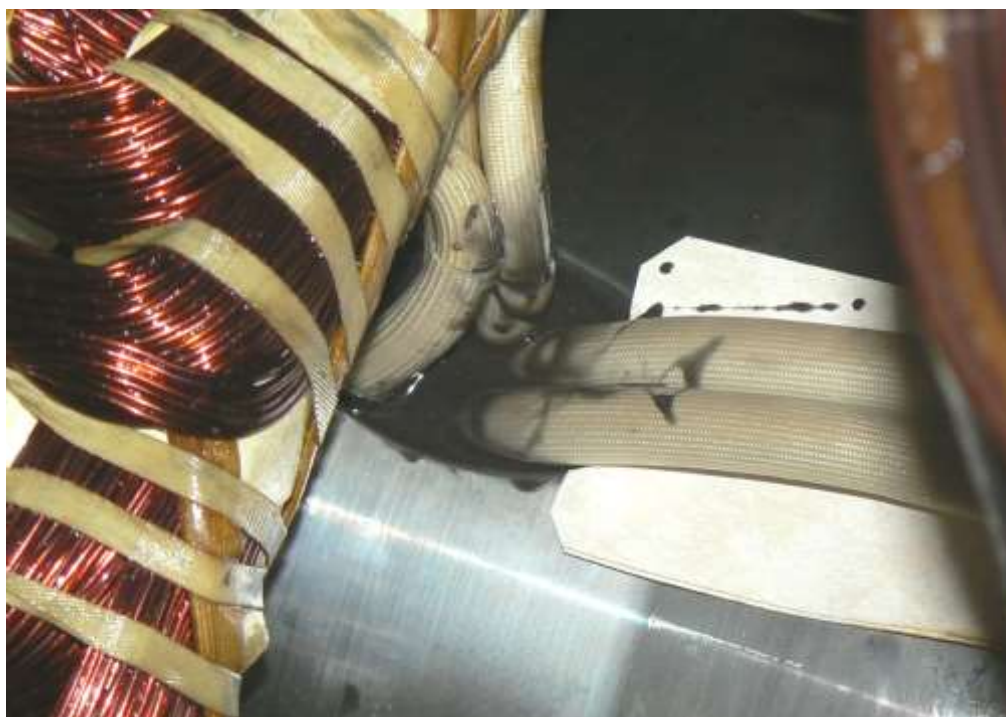
OBRÁZEK 55 DETAIL ROTORU SYNCHRONNÍHO MOTORU S VYNIKLÝMI PÓLY



OBRÁZEK 56 DETAIL TYČE KLECOVÉHO VINUTÍ PRO ROZBĚH SYNCHRONNÍHO MOTORU



OBRÁZEK 57 DETAIL ROTUJÍCÍHO USMĚRŇOVAČE SYNCHRONNÍHO MOTORU



OBRÁZEK 58 DETAIL BEZKROUŽKOVÉHO PROPOJENÍ BUDIČE A BUDICÍHO VINUTÍ SYNCHRONNÍHO MOTORU

1.3 KOMUTÁTOROVÉ STROJE

Mezi komutátorové stroje řadíme stroje s komutátorem. Jsou to všechny stejnosměrné stroje, dále stroje jednofázové komutátorové a třífázové komutátorové.

1.3.1 KONSTRUKCE KOMUTÁTOROVÝCH STROJŮ

Stator

- **Stator** komutátorového stroje je složen z magnetického obvodu.
- U střídavých strojů je sestaven z elektrotechnických plechů.
- Stejnosměrné stroje mají stator z magneticky měkké oceli.
- Ve statoru je uloženo vinutí, zpravidla na vyniklých pólech.



OBRÁZEK 59 STATOR STŘÍDAVÉHO JEDNOFÁZOVÉHO KOMUTÁTOROVÉHO ELEKTROMOTORU

Rotor

- Rotor je tvořen z plechů s drážkami na vnějším obvodu.
- Vinutí u komutátorových strojů rozeznáváme **smyčkové** – u dvoupólových strojů, což jsou všechny jednofázové sériové střídavé elektromotory.
- **Vlnové vinutí** – u čtyř a vícepólových strojů převážně stejnosměrných.
- Vývody z cívek jsou připojeny na komutátor, který je součástí rotoru.



OBRÁZEK 60 ROTOR KOMUTÁTOROVÉHO STROJE

Komutátor

- Je součástí rotoru, podle kterého je celá skupina strojů pojmenována.
- Komutátor tvoří jednotlivé, od sebe odizolované lamely.
- K lamelám je připojeno vinutí jednotlivých cívek.



OBRÁZEK 61 KOMUTÁTOR STŘEDNĚ VELKÉHO KOMUTÁTOROVÉHO STROJE

Víka

- Víka drží rotor ve statoru.
- Součástí víka bývá sběrací ústrojí tvořené držáky uhlíků a vlastními uhlíky s pružinami.



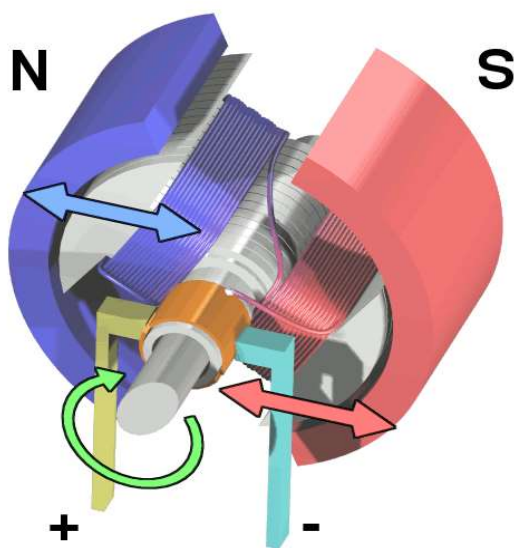
OBRÁZEK 62 VÍKA MALÉHO KOMUTÁTOROVÉHO STROJE SE SBĚRNÝM ÚSTROJÍM



OBRÁZEK 63 ROZLOŽENÝ KOMUTÁTOROVÝ MOTOR

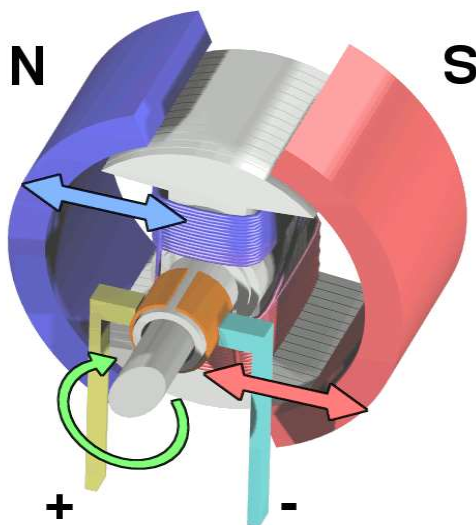
1.3.2 PRINCIP KOMUTÁTOROVÝCH STROJŮ

Nejjednodušší **motor** na stejnosměrný proud má stator tvořený permanentním magnetem a rotující kotvu ve formě elektromagnetu s dvěma póly. Rotační přepínač zvaný komutátor mění směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole procházejícího kotvou dvakrát během každé otáčky. Tím zajistí, že síla působící na póly rotoru má stále stejný směr. V okamžiku přepnutí polarity (mrtvý úhel motoru) udržuje běh tohoto motoru ve správném směru setrvačnost.



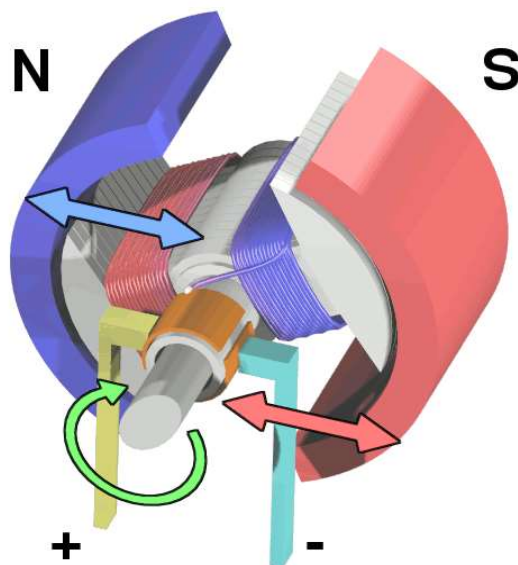
OBRÁZEK 64 PRINCIP STEJNOSMĚRNÉHO ELEKTROMOTORU 1

Rotor (kotva) je přes oranžový komutátor připojen ke zdroji stejnosměrného napětí. Stator je tvořen dvěma velkými permanentními magnety.



OBRÁZEK 65 PRINCIP STEJNOSMĚRNÉHO ELEKTROMOTORU 2

Vzhledem k polaritě statoru a rotoru se souhlasné póly (barvy) odpuzují a rotor se otáčí.



OBRÁZEK 66 PRINCIP STEJNOSMĚRNÉHO ELEKTROMOTORU 3

Opačné póly se přitahují, rotor se stále otáčí. V okamžiku, kdy se rotor dostane do vodorovné polohy, dojde na komutátoru k přepnutí polaritě magnetického pole rotoru.

Generátor na stejnosměrný proud nazývaný **dynamo** pracuje na opačném principu jako motor. Mechanicky otáčíme rotorem a v cívkách rotoru se indukuje střídavý proud, který je usměrněn přes komutátor. Buzení statoru je zajištěno buď permanentním magnetem, jako na předchozích obrázcích, nebo z nezávislého zdroje nebo připojením k rotoru paralelně nebo sériově. Počáteční nabuzení v posledních dvou případech zajistí zbytkový (remanentní) magnetismus.

1.3.3 POUŽITÍ KOMUTÁTOROVÝCH STROJŮ

Dynama se používají jako zdroje stejnosměrného proudu. V dřívějších dobách měla využití např. v automobilovém průmyslu, kde je v současnosti nahradily alternátory. Dále se využívají jako budiče synchronních strojů, brzdy stejnosměrných motorů nebo jako svářecí agregáty.

Motory stejnosměrné nachází využití jako pohony lokomotiv ve stejnosměrné trakci, jako servomotory a startéry v automobilech. Používají se k pohonu regulačních a automatizačních zařízení, k pohonu trolejbusů. Malé stejnosměrné motorky nachází uplatnění v akunáradí a v modelářství.

Motory střídavé komutátorové jednofázové se využívají ve velkém měřítku všude tam, kde potřebujeme z různých důvodů dosáhnout vysokých otáček a jejich snadné regulace. V domácnosti jsou to např. vysavače, mixéry, automatické pračky, holící strojky, v dílně veškeré ruční elektrické nářadí.



OBRÁZEK 67 SÉRIOVÝ KOMUTÁTOROVÝ ELEKTROMOTOR Z RUČNÍ OKRUŽNÍ PILY

Třífázové střídavé komutátorové elektromotory se používají tam, kde je třeba dosáhnout plynulé regulace otáček bez ztráty výkonu, např. zdvihací motory jeřábů.



OBRÁZEK 68 TŘÍFÁZOVÝ KOMUTÁTOROVÝ MOTOR N PROVEDENÍ VINTER

Dynama – podle zapojení statoru vůči rotoru:

- sériová
- derivační (paralelní)
- kompaundní (smíšená)
- protikompaundní

Motory stejnosměrné – podle zapojení statoru vůči rotoru:

- sériové
- derivační
- kompaundní

Motory komutátorové střídavé jednofázové:

- jednofázový sériový motor – univerzální
- repulzní motor

Motory komutátorové střídavé třífázové:

- komutátorový třífázový derivační motor napájený do statoru
- komutátorový třífázový derivační motor napájený do rotoru

Elektronicky komutovaný motor – je moderní motor, kde funkci komutátoru přebírá elektronika. Stator je tvořen magnetickým obvodem z elektrotechnických plechů s drážkami. V drážkách je izolovaně uloženo třífázové vinutí spojené do hvězdy. Začátky vinutí jsou připojeny k řídicí elektronice, která plní funkci komutátoru. Rotor bývá konstrukčně uspořádán buď s magnety na povrchu, kdy nedochází ke koncentraci magnetického toku a magnetická indukce v mezeře odpovídá indukci permanentních magnetů, nebo s magnety vestavěnými uvnitř rotoru s koncentrací magnetického toku pólovými nástavci.

Oproti klasickému komutátorovému motoru jsou tedy funkce rotoru a statoru obrácené. Absence mechanického komutátoru zvyšuje spolehlivost těchto strojů. Nedochází k jiskření, zlepšuje se oproti komutátorovým motorům chlazení, protože veškeré teplo vzniká ve statoru, odkud se snáze odvádí. Vznik těchto motorů je podmíněn objevem magnetických materiálů vzácných zemin (samarium - kobalt, neodym - železo - bor) nebo levnějších tvrdých feritů (Durox apod.), které však nemají tak dobré magnetické vlastnosti.

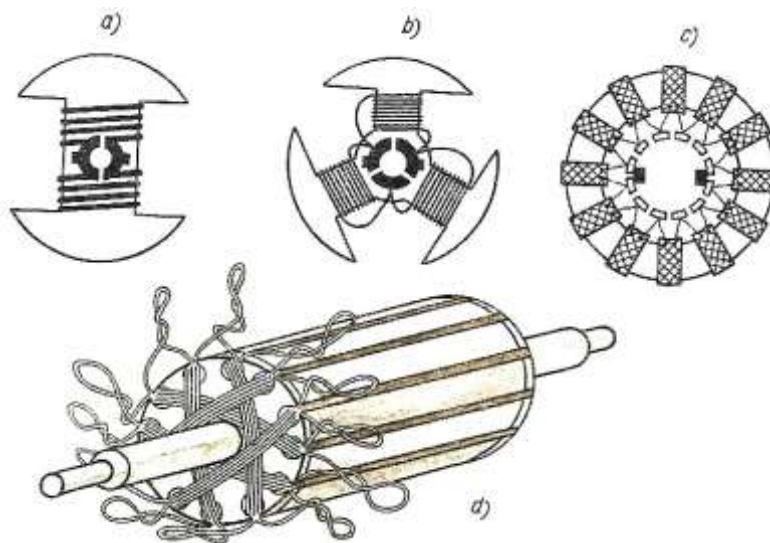


OBRÁZEK 69 ELEKTRONICKÝ KOMUTOVANÝ MOTOR



OBRÁZEK 70 JEDNOFÁZOVÝ STŘÍDAVÝ SÉRIOVÝ MOTOR Z AUTOMATICKÉ PRAČKY

- **Druhy kotev**



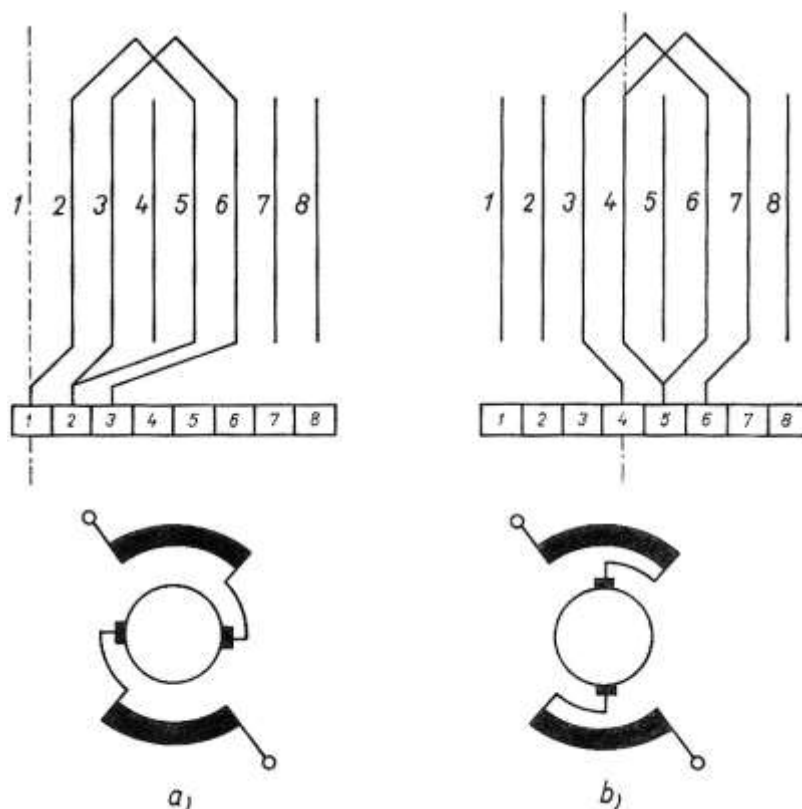
OBRÁZEK 71 KOTVY KOMUTÁTOROVÝCH STROJŮ: A) TVAR I B) TROJDRÁŽKOVÁ C) PRSTENCOVÁ D) BUBNOVÁ

Kotvy tvaru a, b, c, se používají hlavně u malých a speciálních motorků. Nejčastěji používaná je kotva bubnová – tvar d.

Bubnová kotva se dále dělí podle druhu vinutí. Rozeznáváme dva základní druhy: vinutí smyčkové a vinutí vlnové.

- **Smyčková vinutí**

Tvoří tolik paralelních větví, kolik je pólů. Stejný je i počet kartáčů. Každá cívka smyčkového vinutí je svými dvěma konci připojena k sousedním lamelám. Na komutátoru proto tvoří krok $y_1 = 1$. Při dvou a vícenásobném kroku u smyčkového vinutí vzniká dvou a vícenásobný počet paralelních větví. Toto vinutí vyžaduje naprostou souměrnost vzduchové mezery, jinak dochází k nestejněmagnetickému toku. V jednotlivých částech kotvy se indukují nestejně elektromotorické napětí, tím vzniká přetížení jednotlivých větví nacházejících se v menší vzduchové mezeře a jiskření kartáčů. Kotvy s tímto vinutím (elektrické ruční nářadí, vysavače, mixéry...) jsou náročné na dynamické vyvážení.



OBRÁZEK 72 SCHÉMA ZAPOJENÍ KOTVY- 8 DRÁŽEK, 8 LAMEL A USPOŘÁDÁNÍ STATORU

a) osa středem drážky – kartáče mezi póly b) osa středem cívky, kartáče pod póly;

Podle způsobu navíjení smyčková vinutí dále dělíme na:

- a) vinutí ve tvaru D
- b) vinutí ve tvaru V
- c) vinutí ve tvaru H.

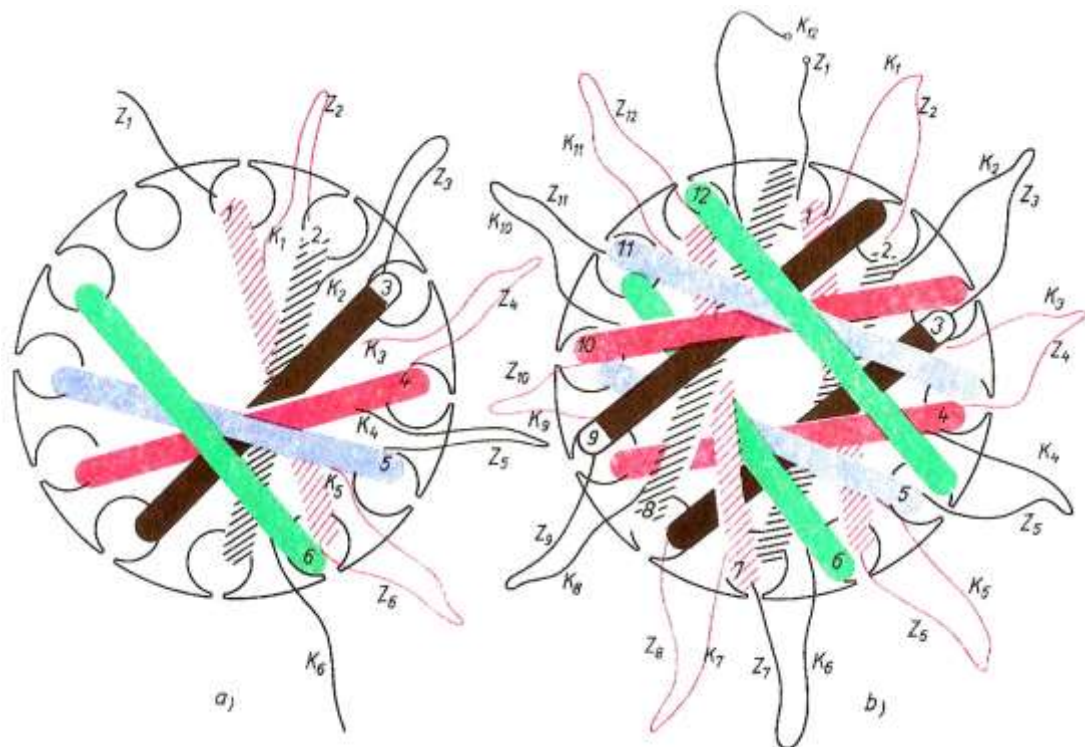
Každé z těchto vinutí má svoje výhody a nevýhody.

Výhodou vinutí ve **tvaru D** jsou jeho menší nároky na zhotovení (postačí jedna cívka vodiče), nevýhodou je náročnost na vyvážení (poslední cívka je větší než první, tudíž těžší).

Výhodou vinutí ve **tvaru H** je snadnější vyvážení (vinutí je souměrné). Nevýhodou je nutnost dvou cívek vodiče a střídavé navíjení z jedné a druhé cívky.

Vinutí ve **tvaru V** odstraňuje nevýhody předchozích dvou, je však náročné na vlastní navíjení.

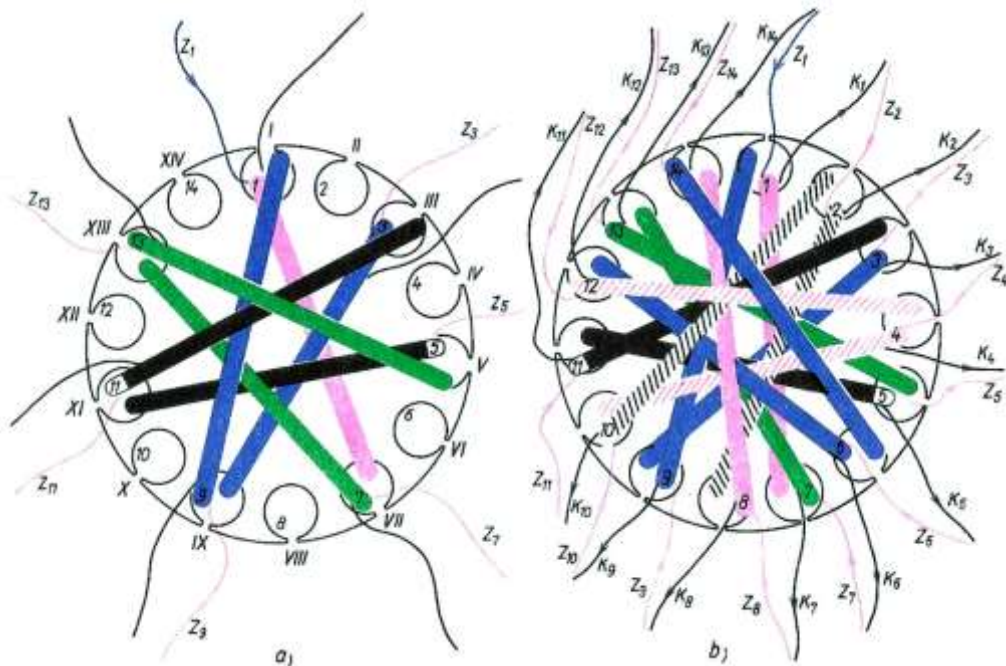
- **Vinutí ve tvaru D**



OBRÁZEK 73 POSTUP RUČNÍHO NAVÍJENÍ KOTVY ZPŮSOBEM D

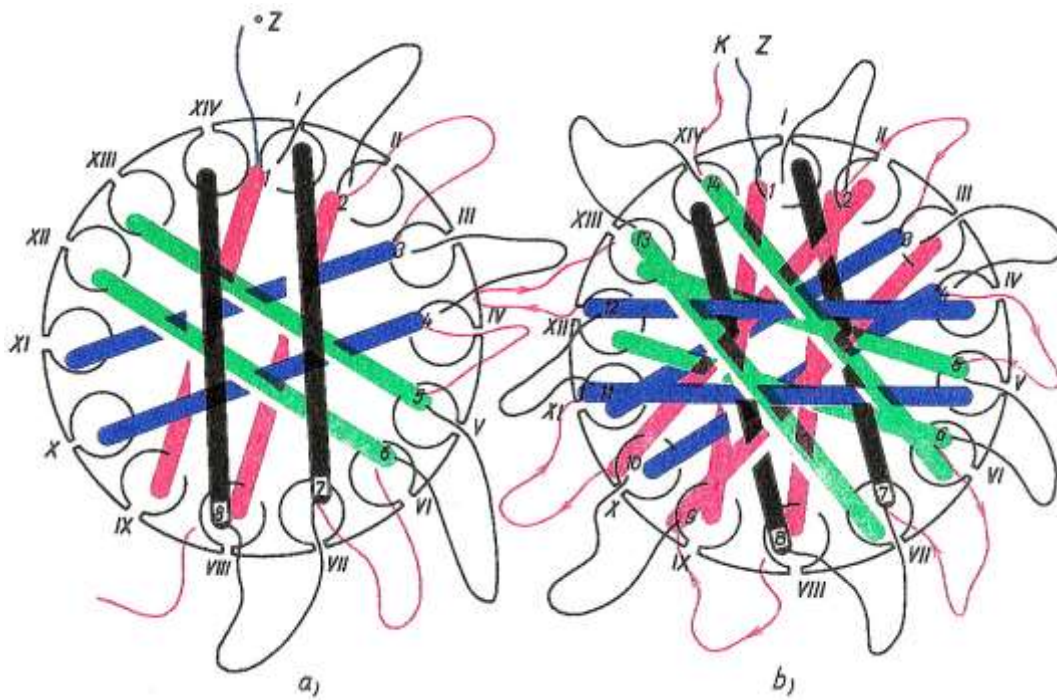
a) první polovina vinutí b) dokončení vinutí

- **Vinutí ve tvaru V**



OBRÁZEK 74 VINUTÍ TVARU V – SUDÝ DRÁŽKOVÝ KROK, SUDÝ POČET DRÁŽEK, VINUTÍ PŘERUŠOVANÉ, ND = 14

- Vinutí ve tvaru H



OBRÁZEK 75 RUČNÍ VINUTÍ TVARU H: $ND = 14$, $K = 14$, $2P = 2$, $2A = 2$

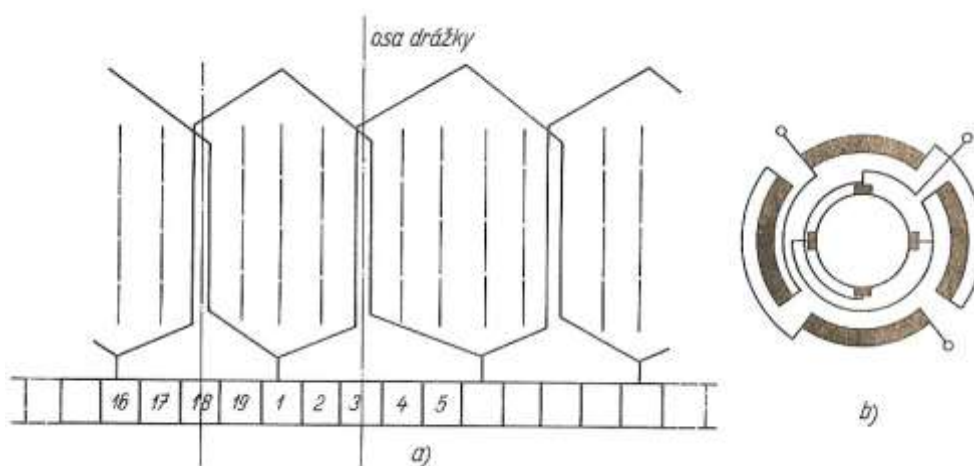
a) první polovina vinutí b) druhá polovina vinutí



OBRÁZEK 76 KOTVIČKA PŘED NAVÍJENÍM

- **Vlnová vinutí**

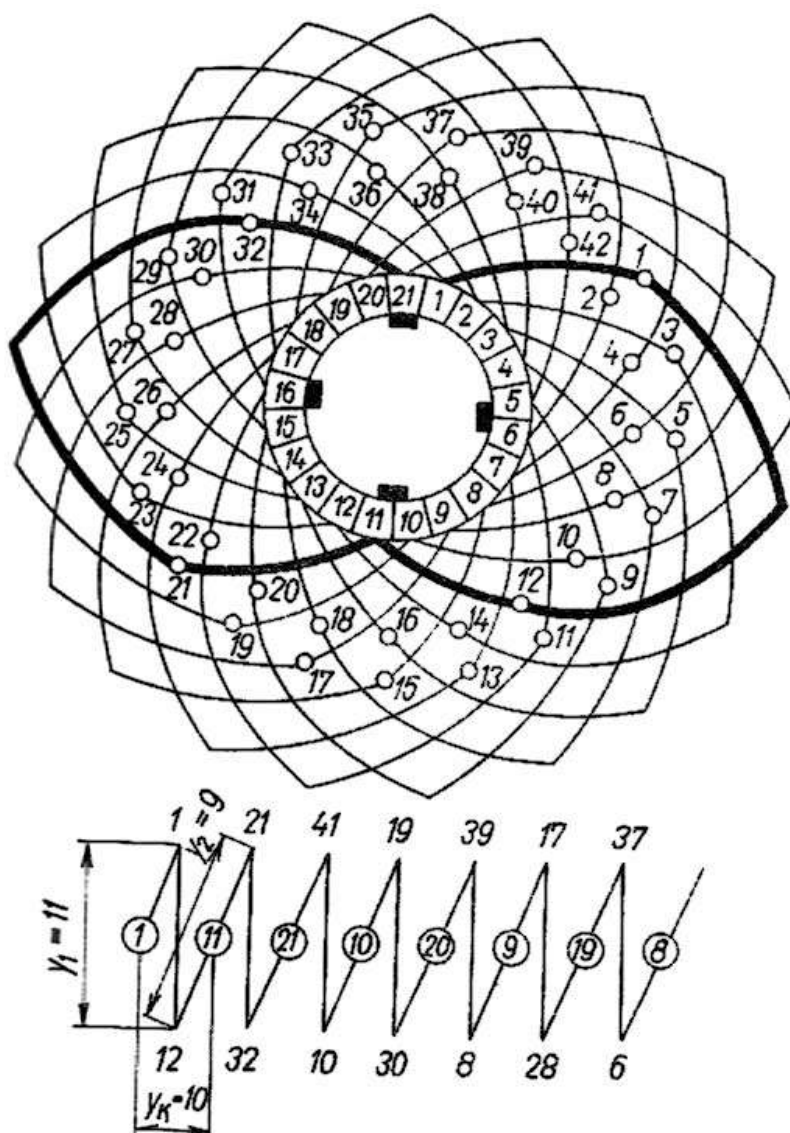
Jsou převážně sériová, mají nejméně dvě paralelní větve. Vyskytují se proto jako nejméně čtyřpólová. Dvoupólová vinutí jsou vždy smyčková. U vlnového vinutí je každá paralelní větev rozložena po celém obvodu kotvy. Tím se docílí i při určité nesouměrnosti vzduchové mezery a stejnoměrného zatížení všech větví. Pro přívod proudu by stačily u vlnového vinutí pouze dvě sady kartáčů v pólové rozteči. Pro snížení zatížení kartáčů používáme tolik kartáčů, kolik je pólů.



OBRÁZEK 77 VINUTÍ ČTYŘPÓLOVÉHO STROJE A) SCHÉMA VLNOVÉHO VINUTÍ KOTVY
B) USPOŘÁDÁNÍ VINUTÍ STATORU



OBRÁZEK 78 VLNOVÉ VINUTÍ KOTVY STARTÉRU



OBRÁZEK 79 PRAVIDELNÉ VLNOVÉ VINUTÍ NEKŘÍŽENÉ: $ND = 21$, $K = 21$, $2P = 4$, $2A = 2$; NAHOŘE
ČELNÍ POHLED NA ROTOR – ZVÝRAZNĚNA PRVNÍ VLNA VINUTÍ; DOLE – LINEÁRNÍ SCHÉMA

Základní veličiny:

Počet drážek – N_d (Q)

Počet lamel komutátoru – k

Počet paralelních větví – $2a$

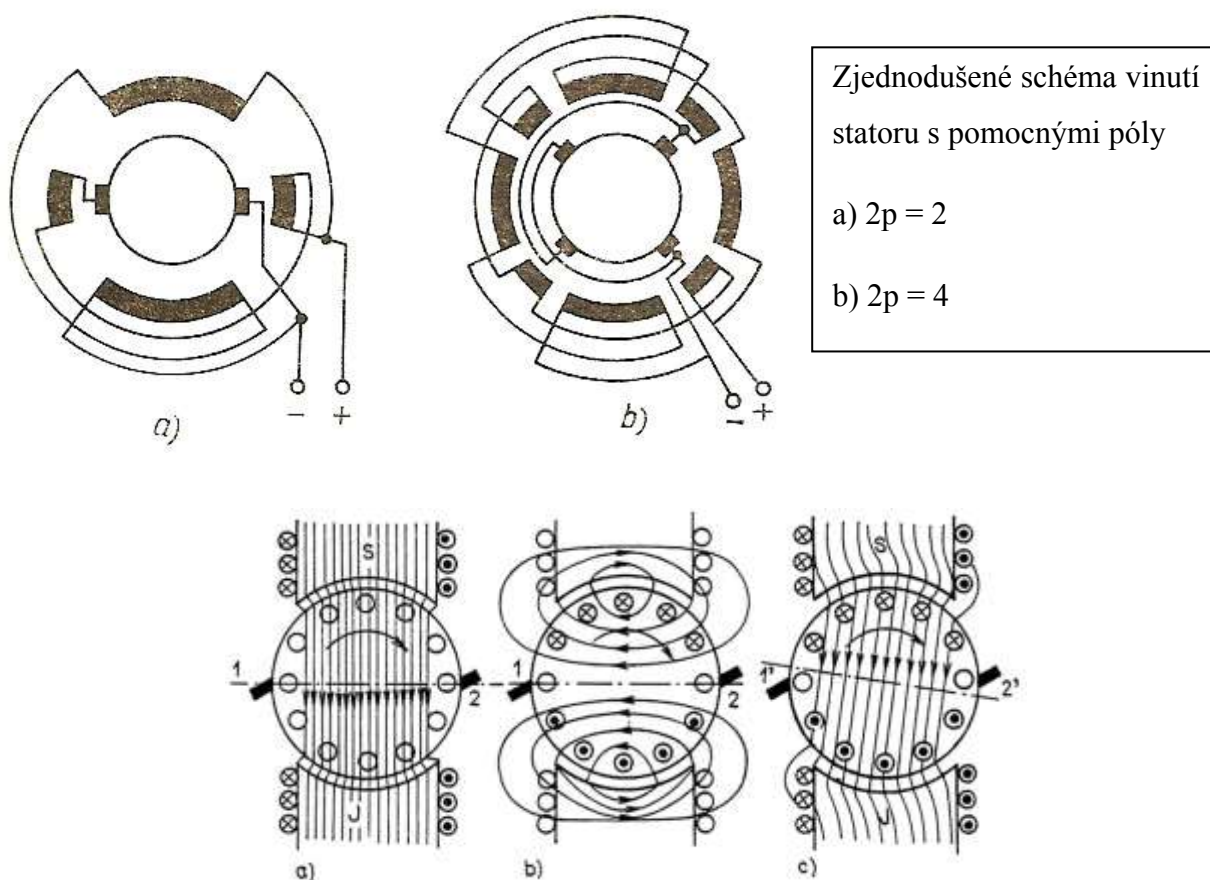
Počet pólů – $2p$

Krok vinutí – y

Komutátorový krok

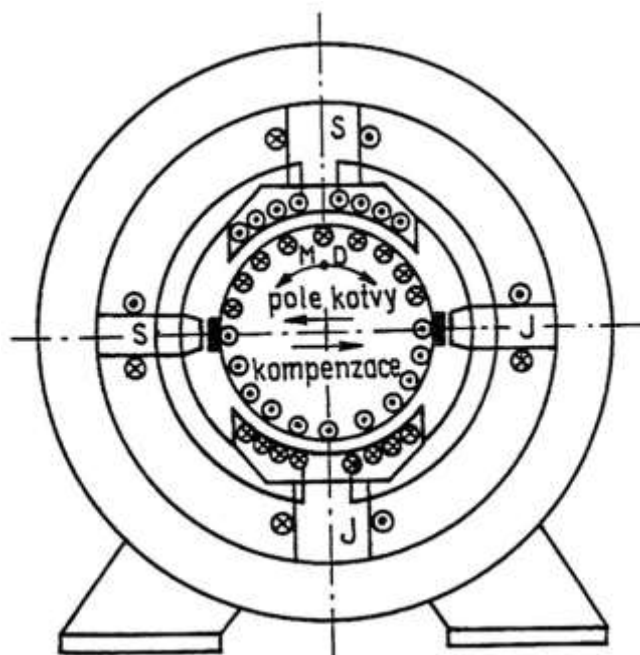
- **Výroba a montáž pólových nástavců**

Pólové nástavce stejnosměrných strojů jsou vyrobeny z magneticky měkkého materiálu – oceli. Statory střídavých komutátorových strojů se zhotovují z elektromagnetických plechů. Statory velkých motorů mají kromě vinutí hlavních pólů ještě pomocné póly. Na nich je uloženo komutační vinutí. Mohou mít i kompenzační vinutí uložené v drážkách pólových nástavců, zapojené do série s kotvou, avšak vinuto v opačném smyslu než vinutí kotvy. Obě pomocná vinutí – kompenzační i komutační - mají za úkol potlačit reakci kotvy a používají se hlavně u strojů na větší výkon.



OBRÁZEK 80 REAKCE KOTVY

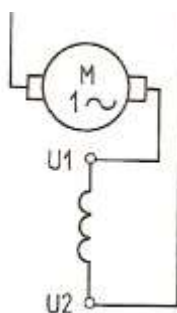
Na obrázku 80 a vidíme zjednodušeně znázorněno hlavní magnetické pole vyvolané průchodem proudu v cívkách statoru. Čerchovaná čára mezi uhlíky znázorňuje neutrální polohu. Na obrázku 80 b vidíme znázorněné reakční pole způsobené průchodem proudu kotvou. Toto pole je úměrné zatížení stroje a je kolmé na pole hlavní. Obrázek 80 c ukazuje reálný stav, kdy se vektorově sčítá pole hlavní a reakční pole kotvy. Dochází k vychýlení neutrální polohy, a tím k jiskření uhlíků. K potlačení reakce kotvy slouží komutační póly a kompenzační vinutí, případně naklápění uhlíků nebo úprava založení cívek na komutátoru.



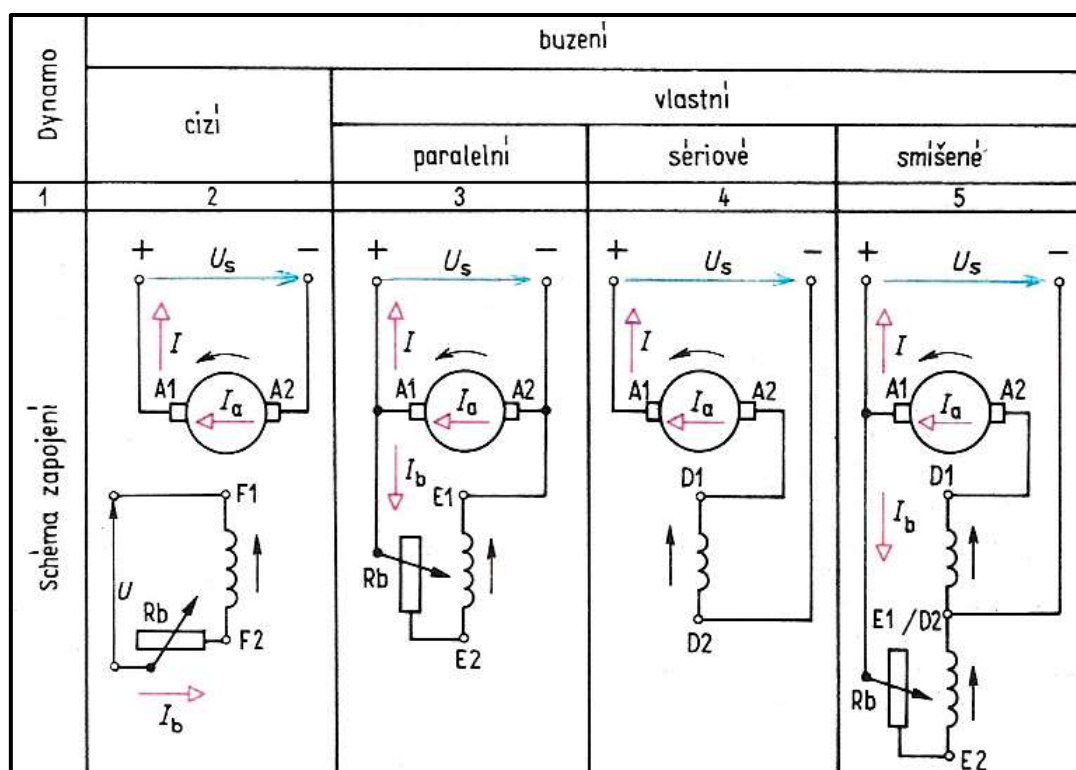
OBRÁZEK 81 USPOŘÁDÁNÍ VINUTÍ DVOUPÓLOVÉHO STROJE S POMOCNÝMI PÓLY A KOMPENZAČNÍM VINUTÍM

Postup při převíjení statoru komutátorových strojů

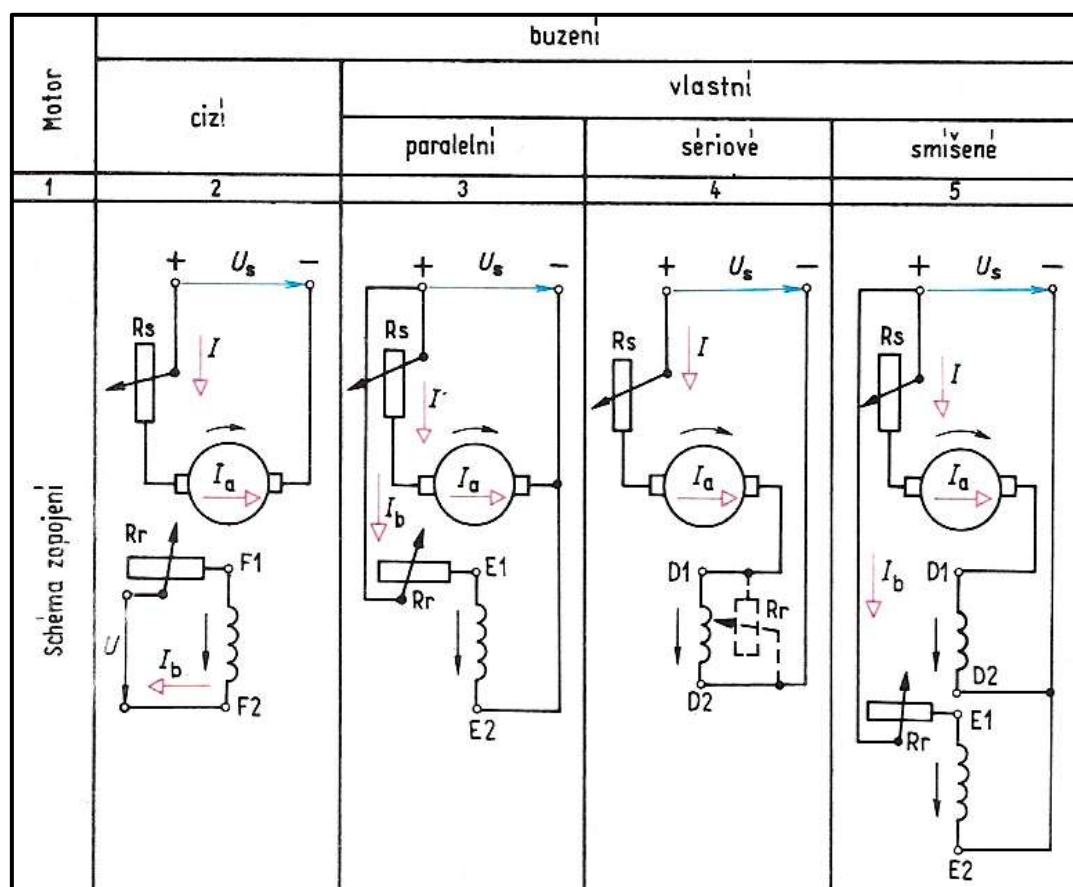
- Demontáž vinutí, zjištění technických údajů (počet vodičů v cívce, průměr vodiče, druh izolace....)
- Naměření šablony, navinutí cívek
- Bandážování cívek
- Vložení cívek na pólové nástavce nebo do drážek statoru
- Zapojení a odzkoušení



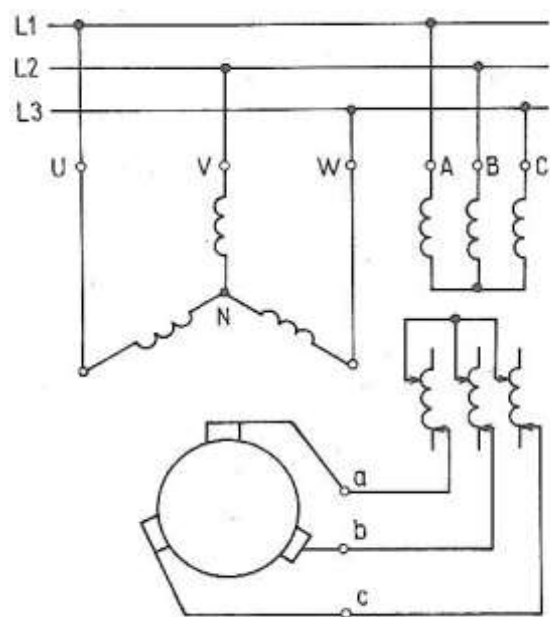
OBRÁZEK 82 SCHÉMA ZAPOJENÍ JEDNOFÁZOVÉHO SÉRIOVÉHO KOMUTÁTOROVÉHO ELEKTROMOTORU



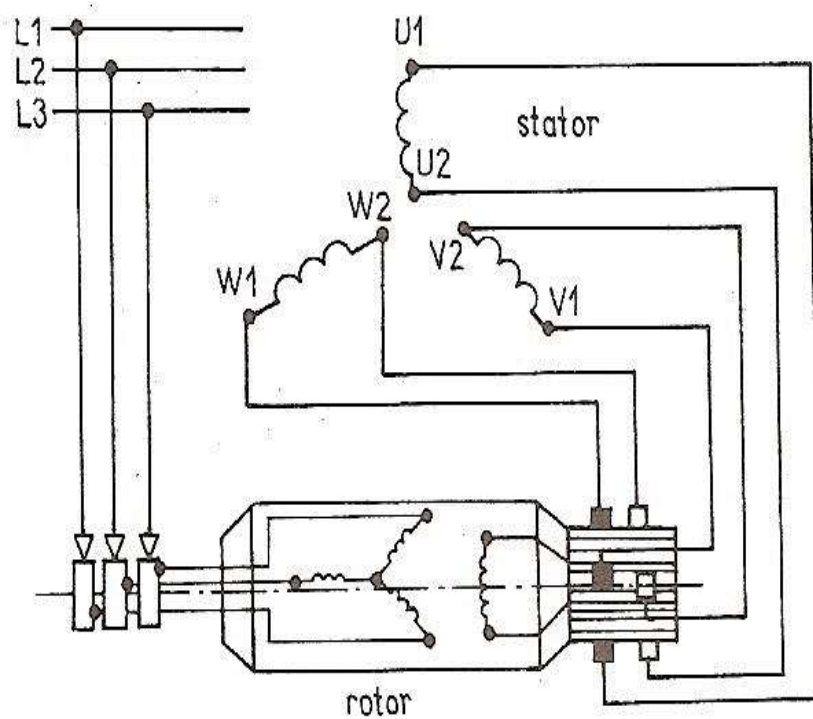
OBRÁZEK 83 SCHÉMA ZAPOJENÍ DYNAM



OBRÁZEK 84 SCHÉMA ZAPOJENÍ STEJNOSMĚRNÝCH ELEKTROMOTORŮ



OBRÁZEK 85 TŘÍFÁZOVÝ KOMUTÁTOROVÝ DERIVAČNÍ MOTOR NAPÁJENÝ DO STATORU

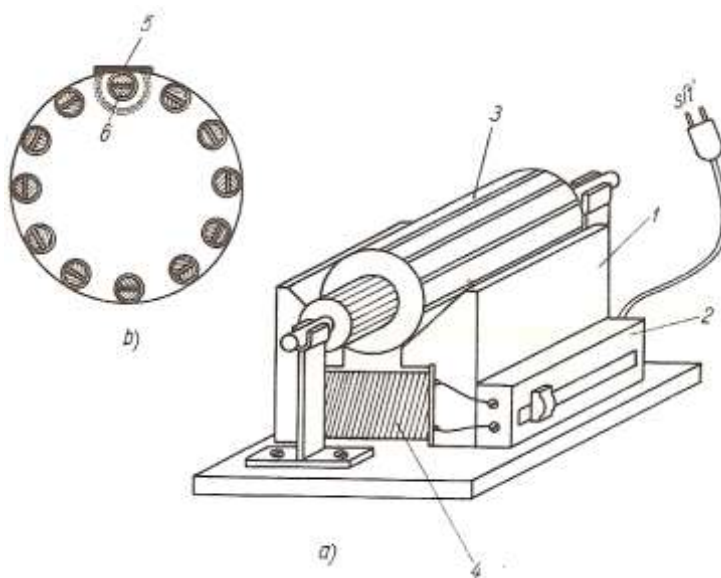


OBRÁZEK 86 TŘÍFÁZOVÝ KOMUTÁTOROVÝ DERIVAČNÍ MOTOR NAPÁJENÝ DO ROTORU

1.3.6 MĚŘENÍ KOMUTÁTOROVÝCH STROJŮ

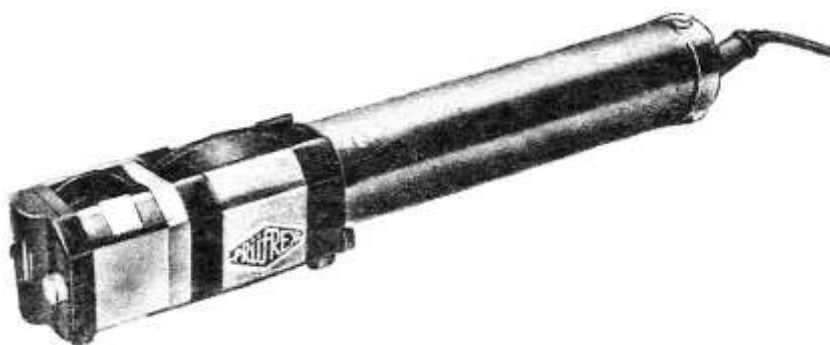
- **Elektrická pevnost:** megmetem měříme jednotlivé fáze mezi sebou a mezi fázemi a kostrou. Zkoušíme zvýšeným napětím ($2 \times U_{jm} + 1000$) – 2kV.
- **Proud** – měříme naprázdno a jeho hodnotu porovnáváme se štítkovými údaji.
- **Měření odporu kotvy:** měříme odpor mezi jednotlivými lamelami komutátoru, odpor musí být stejný. Tímto způsobem zjišťujeme, není-li vinutí přerušené.
- **Závitový zkrat:** přikládáme k jednotlivým drážkám přístroj Prüfrefx použitelný na rotory i statory.

Rotory komutátorových strojů se mohou odzkoušet na speciálním zařízení, viz obrázek.



OBRÁZEK 87 ZAŘÍZENÍ NA ZJIŠŤOVÁNÍ ZÁVITOVÝCH ZKRATŮ VE VINUTÍ MALÝCH KOTVIČEK

1) jádro elektromagnetu 2) regulátor napětí 3) kotva 4) elektromagnet



OBRÁZEK 88 SONDA PŘÍSTROJE K VYHLEDÁVÁNÍ ZÁVITOVÝCH ZKRATŮ PRÜFREX

- **Poškozené vinutí kotvy** – nejčastější porucha – závitový zkrat v kotvě, přerušené vinutí, špatná funkce komutátoru, vadná ložiska, vniknutí cizích těles, vada izolace.
- **Uvolňování lamel, neválcový komutátor** – porucha mechanického charakteru, působením odstředivých sil, uvolnění komutátoru na hřídeli a utržení konců cívek, uvolnění rotorových plechů – poškození vinutí.
- **Budicí vinutí** – méně poruchové, závitové zkraty, zkrat na kostru.

1.4 TRANSFORMÁTORY

Transformátory jsou netočivé stroje, které pracují na principu elektromagnetické indukce. Transformátory zvyšují nebo snižují střídavé napětí při stejném kmitočtu. Mění počet fází, izolují dvě soustavy apod.. Umožňují hospodárný přenos elektrické energie.

1.4.1 KONSTRUKCE TRANSFORMÁTORU

Základ transformátoru tvoří **magnetický a elektrický obvod**.

Magnetický obvod je složen z orientovaných plechů stažených svorníky. Tvar magnetického obvodu se mění v závislosti na typu transformátoru. Třífázový transformátor má magnetický obvod složený ze tří sloupků, v horní a spodní části propojených spojkami. U transformátorů velkých výkonů je magnetický obvod odstupňován, aby co nejlépe vyplnil prostor kruhové cívky. Jednofázové transformátory mají magnetické obvody složené z plechů tvaru E – I, M, L, nebo je magnetický obvod vinutý – toroid, C - jádro.

Elektrický obvod tvoří primární a sekundární vinutí. U třífázových transformátorů je strana nižšího napětí umístěna blíže k jádru, strana vyššího napětí je vně. Cívky vinutí bývají válcové nebo kotoučové, vzájemně propojené do hvězdy – Y, trojúhelníka – D nebo lomené hvězdy – Z. Začátky a konce vinutí jsou vyvedeny na víko transformátoru, kde jsou připojeny k izolátorům. Regulaci napětí zajišťuje přepínač nebo přepojovač odboček. Oba obvody, jak elektrický, tak magnetický, bývají uloženy v nádobě a zality transformátorovým olejem. Ten zajišťuje chlazení transformátoru a zlepšuje izolační pevnost. Pro zlepšení odvodu tepla – zvětšení povrchu, bývá nádoba opatřena trubkami nebo radiátory, u velkých výkonů ofukovanými ventilátory. Cirkulace oleje uvnitř nádoby je zajištěna samotížně nebo čerpadlem. Tlak a hladinu oleje hlídá plynové relé (Buchholzovo). V horní části nádoby bývá zásobník oleje s olejoznakem. Používají se rovněž vzduchem chlazené třífázové transformátory.

Elektrický obvod jednofázových transformátorů je tvořen primárním a sekundárním vinutím navinutým na cívkovém tělese. Začátky a konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici s označenou hodnotou napětí. U síťových transformátorů vineme primární vinutí blíže k jádru transformátoru (lepší tvarování, bývá z tenčího vodiče). Toroidy se vinou přímo na magnetický obvod na speciálních navíječkách.



OBRÁZEK 89 JÁDROVÝ TRANSFORMÁTOR



OBRÁZEK 90 PLÁŠŤOVÝ TRANSFORMÁTOR



OBRÁZEK 91 JÁDROVÝ TRANSFORMÁTOR C-JÁDRO



OBRÁZEK 92 TOROIDNÍ TRANSFORMÁTOR



OBRÁZEK 93 NAVÍJEČKA PRO TOROIDNÍ TRANSFORMÁTORY



OBRÁZEK 94 TŘÍFÁZOVÝ OLEJOVÝ TRANSFORMÁTOR



OBRÁZEK 95 MALÝ TŘÍFÁZOVÝ TRANSFORMÁTOR

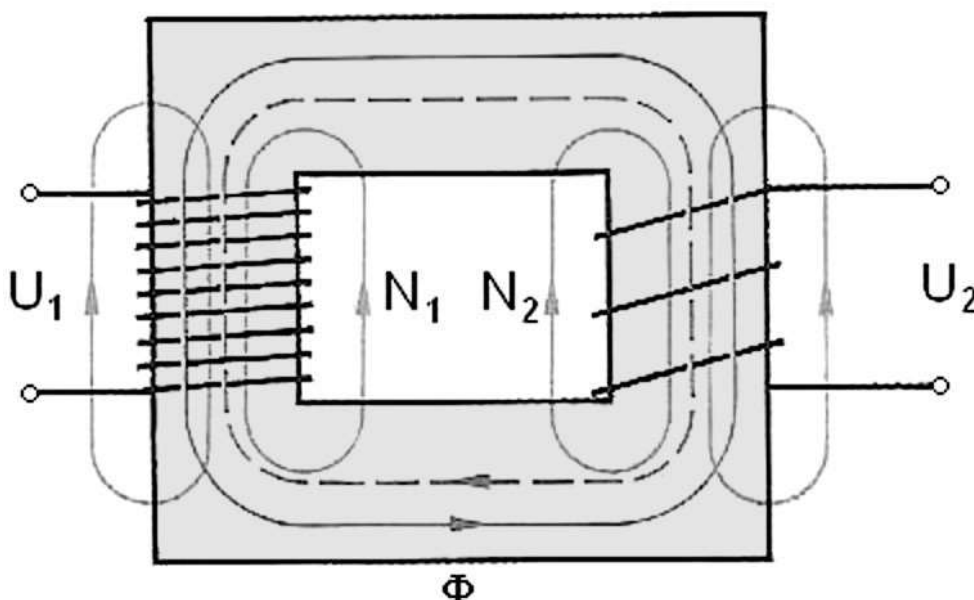


OBRÁZEK 96 TŘÍFÁZOVÝ VZDUCHEM CHLAZENÝ TRANSFORMÁTOR

1.4.2 PRINCIP TRANSFORMÁTORU

Transformátory pracují na principu elektromagnetické indukce. Proud procházející vstupním (primárním) vinutím vyvolá v magnetickém obvodu magnetický tok. Magnetické siločáry protínají výstupní (sekundární) vinutí, ve kterém se indukuje elektrický proud. Hodnota výstupního napětí a proudu je závislá na proudu a napětí vstupním a na poměru závitů vstupního a výstupního vinutí. Tento vztah se nazývá převodem transformátoru.

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$



OBRÁZEK 97 PRINCIP JEDNOFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU

Výkon transformátoru je dán průřezem magnetického obvodu, kvalitou plechů a pečlivostí provedení. Magnetický obvod transformátoru nesmí obsahovat vzduchové mezery způsobené špatným sestavením. Svořníky nesmí tvořit závity nakrátko a musí magnetický obvod pevně stahovat, jinak dochází k nepříjemnému „bručení“ způsobenému chvěním plechů vlivem frekvence.

1.4.3 ROZDĚLENÍ A UŽITÍ TRANSFORMÁTORŮ

Transformátory dělíme podle počtu fází na jednofázové, třífázové a speciální.

Jednofázové transformátory – síťové – zajišťují převod ze síťového napětí 230 V na napětí malé, potřebné v různých zařízeních obsahujících např. elektronické součástky nebo osvětlení na malé napětí. V poslední době jsou tyto transformátory často nahrazovány spínanými zdroji, hlavně pro menší hmotnost a tichý chod.

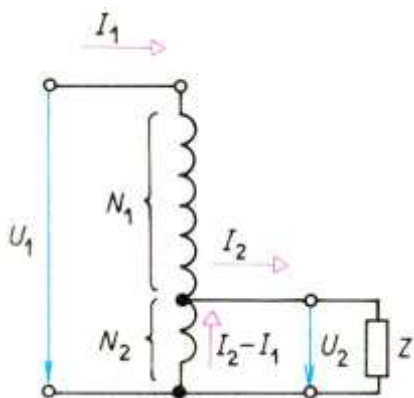
Patří sem i bezpečnostní transformátory určené ke snížení napětí na napětí bezpečné. Tyto transformátory mají ukostřeno stínění mezi primárním a sekundárním vinutím.

Třífázové transformátory – distribuční jsou určené pro hospodárný přenos elektrické energie. Ztráty přenosem jsou závislé na odporu vedení (nemůžeme mnoho ovlivnit) a na druhé mocnině proudu (můžeme ovlivnit – u přenášeného výkonu zvýšíme napětí a tím snížíme proud). Proto v praxi za elektrárnou zvýšíme napětí pomocí zvyšovacího transformátoru, přes soustavu rozveden přivedeme k zákazníkovi a tam napětí snížíme pomocí snižovacího transformátoru na síťové.

Třífázové transformátory malých výkonů s převodem 1 slouží jako oddělovací transformátory určené pro realizaci ochrany oddělením obvodu.

Speciální transformátory

- Autotransformátor je transformátor, který má pouze jedno vinutí rozdělené na dvě části. Jedna část vinutí s N_1 závitů je spojena do série s druhou částí vinutí s N_2 závitů. Část vinutí s N_2 závitů je společná pro vstupní i výstupní stranu a prochází jí rozdíl proudu $I_2 - I_1$.



OBRÁZEK 98 SCHÉMA AUTOTRANSFORMÁTORU

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$

- Autotransformátory se používají ke zvyšování nebo snižování napětí. Nesmíme je však použít k transformaci vysokého napětí na nízké nebo nízkého na malé napětí protože při přerušení N_2 by se nebezpečné napětí dostalo na stranu nižšího napětí. Proto je také nelze použít jako bezpečné transformátory, které musí mít vstupní obvod oddělený od výstupního. Dříve se používaly v domácnostech pro převod napětí 120V – 220V. Dnes se autotransformátory používají při měření v laboratořích k regulaci napětí. Třífázové autotransformátory se používají ke spouštění asynchronních a synchronních motorů, k regulaci napětí na konci rozvodných sítí, nebo k vzájemnému spojování sítí s různým napětím.



OBRÁZEK 99 AUTOTRANSFORMÁTOR

- **Jisticí transformátor** používáme k napájení ochran, které zabezpečují provoz nebo omezují poruchy elektrických strojů a zařízení (součtový transformátor proudu – proudový chránič).
- **Měřicím transformátorem napětí** napájíme voltmetr při měření střídavého vysokého napětí. Transformátor je transformuje na normalizované nízké napětí 100 V. Vstupní vinutí je připojeno na napětí, které chceme změřit. Na výstupní vinutí je zapojen voltmetr. Vstupní obvod transformátoru jistíme pojistkou. Ve výstupním obvodu jistíme pojistkou neuzemněný vývod. Výstupní vinutí musíme vždy uzemnit, aby měřicí obvod nezískal vysoký potenciál účinkem kapacity mezi vstupním a výstupním vinutím. Uzemnění je nutné i pro bezpečnost obsluhy, protože při poruše izolace by vzniklo na transformátoru nebezpečné napětí.

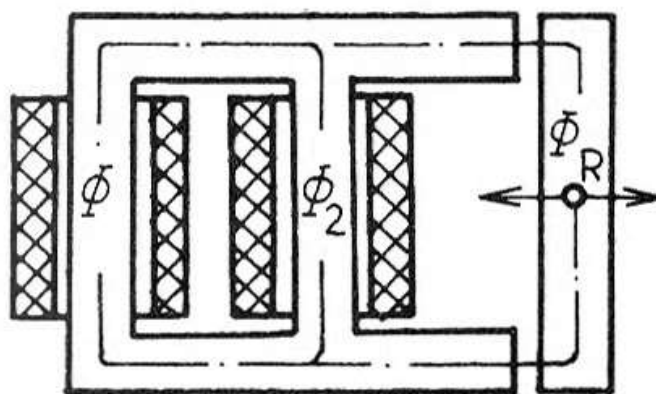


OBRÁZEK 100 MĚŘICÍ TRANSFORMÁTOR NAPĚTÍ



OBRÁZEK 101 MĚŘICÍ TRANSFORMÁTOR PROUDU

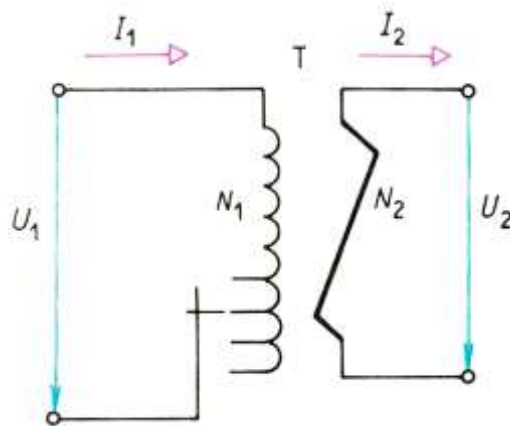
- **Měřicím transformátorem proudu** napájíme ampérmetr při měření velkého střídavého proudu v zařízeních nízkého nebo vysokého napětí. Při měření zapojíme vstupní vinutí do série se zátěží. Na svorky výstupního vinutí připojíme ampérmetr na normalizovaný rozsah do 5 A, popř. 1 A. Výstupní obvod je ampérmetrem spojen nakrátko, a proto ho nesmíme nikdy během měření rozpojit, neboť by vstupní proud jádro transformátoru přesytil a jádro by se nebezpečně zahřálo. Do výstupního vinutí by se indukovalo nebezpečné značně vysoké napětí. Z bezpečnostních důvodů uzemňujeme i výstupní vinutí měřicího transformátoru proudu.
- **Rozptylové transformátory** jsou měkké zdroje napětí odolné proti zkratu. Při velkých zatěžovacích proudech rychle vzrůstá úbytek napětí na indukčním jalovém odporu, takže při zkratu již proud tolik nenaroste. Rozptylové transformátory mívají často v jádře přestavitelnou spojku k nastavování rozptylu magnetického toku.



OBRÁZEK 102 ROZPTYLOVÝ TRANSFORMÁTOR

- **Svařovací transformátory - odporové svařování**

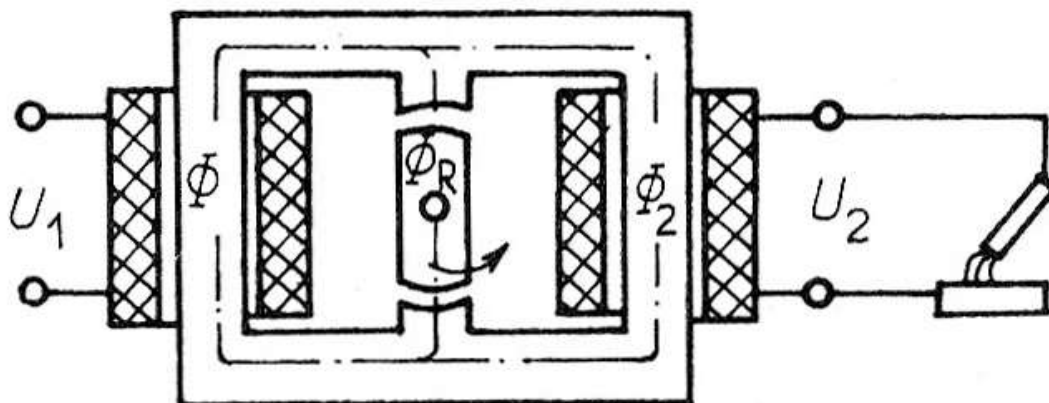
Je zapotřebí velmi malé napětí 4 V až 12 V a velký proud 1 kA až 100 kA. Tento transformátor má na výstupní straně nejčastěji jeden závit z lité mědi, který má kanálky, jimiž protéká chladicí voda. Svařovací proud se řídí přepínáním odboček na vstupním vinutí.



OBRÁZEK 103 SCHÉMA TRANSFORMÁTORU PRO ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ

- **Svařovací transformátor - obloukové svařování**

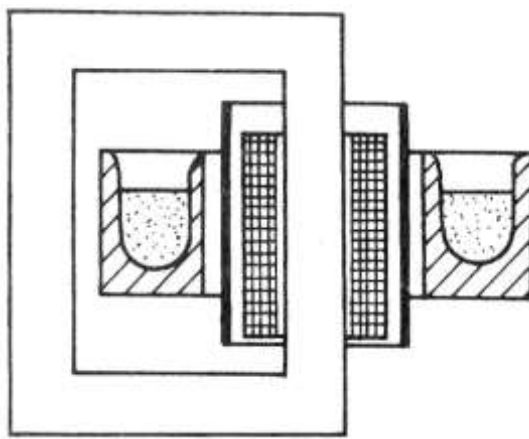
K zapálení oblouku je zapotřebí napětí 60 V až 70 V a k udržení oblouku je zapotřebí napětí 20 V až 25 V. Svařovací transformátor musí vydržet zkrat při kontaktu před vytažením oblouku. Dále se vyžaduje, aby se nastavený proud měnil co nejméně, i když napětí kolísá vlivem změny délky oblouku. Uvedeným požadavkům vyhovuje rozptylový transformátor. Proud se řídí oddalováním nebo vysouváním nebo natáčením rozptylového jádra. Transformátory na svařování obloukem jsou konstruovány i na jiných principech, například na změně polohy výstupního vinutí vzhledem ke vstupnímu vinutí.



OBRÁZEK 104 TRANSFORMÁTOR PRO SVAŘOVÁNÍ S NATÁČECÍM JÁDREM

- **Pecový transformátor**

Pecové transformátory se používají v elektrických nízkofrekvenčních pecích odporových, obloukových nebo indukčních. Je jich několik druhů a jejich výkon je různý, od desítek kilovolt ampérů až do 80 MVA. Výstupní napětí je od 4 V do 500 V, proud dosahují až 300 kA. Pro tak velký proud je výstupní vinutí z měděných pásů nebo trub, jimiž protéká chladicí voda. U indukční nízkofrekvenční pece je transformátor součástí pece. Na jádru je pouze vstupní vinutí dobře chráněné před teplem z pece. Výstupní vinutí s jedním závitem tvoří tavenina.



OBRÁZEK 105 NÍZKOFREKVENČNÍ PECOVÝ TRANSFORMÁTOR

- Zvláštní transformátory pro usměrňovače – výstupní vinutí je pro vícecestné usměrňovače šestifázové, dvanáctifázové i vícefázové.
- Transformátory pro napájení svítivých (neonových) trubíc – používají se rozptylové transformátory s výstupním napětím od 3 kV až do 30 kV. Výstupní proud 18 mA až 30mA.
- Transformátor na rozmrazování kovových potrubí.
- Transformátory do zkušeben.
- Transformátory na lokomotivy a lodě.
- Zvonkové transformátory.
- Transformátory pro ochranu malým napětím.

Navíjení jednofázového transformátoru – postup základních operací:

- určení rozměrů jednotlivých dílů kostřičky podle magnetického obvodu
- příprava a kontrola materiálu podle výkresu nebo technického postupu
- zhotovení jednotlivých dílů a sestavení kostřičky
- zhotovení dřevěného jádra kostřičky
- nastavení navíjecího stroje
- vlastní navíjení
- kontrola navinutí cívek
- izolování vnější části cívek
- úprava vývodů a připojení na svorky
- předběžné sušení
- impregnace
- sušení impregnovaných cívek
- povrchová úprava lakováním
- sušení lakovaných cívek
- technická kontrola a měření hotových cívek

- **Postup navíjení**

Jednotlivé cívky transformátoru se navíjí vodiči normalizovaných průměrů z mědi nebo hliníku (lakované dráty, měděné a hliníkové izolované vodiče). Průměr vodiče se uvádí v milimetrech a je to rozměr měřený bez izolace. Navíjení se provádí na navíječce. Vinutí se vinou na tělesa (kostřičky) cívek.

- U cívek s čely je nutné pájecí body, nýty a očka po roznýtování z izolačních důvodů podlepit z vnitřní strany čela textilní lepicí páskou nebo proužkem drážkové lepenky.
- Pořadí vinutí se určuje podle elektrické pevnosti a proudového zatížení. Platí zásada, že cívky nižšího napětí jsou uvnitř blíže k železu. Jen cívky na velké proudy jsou s ohledem na masivní vývody umístěny vně i při nižším napětí.
- Šířka vinutí je dána vnitřní šířkou cívkového tělíska zmenšenou o mezivrstvou izolaci. Výška vinutí má být taková, aby zůstalo volné 10 % plochy okénka z důvodů rozptýlu, chlazení a montáže cívky. Vzdálenost vinutí od transformátorových plechů je obvykle 2 až 4 mm. Předpokládá se, že závity budou pravidelně uloženy.

Nepravidelné vinutí z důvodu možného průrazu se nepřipouští, především u napětí vyšších nad 100 V.

- **Mezivrstvová izolace a izolace vinutí**

První vrstva vinutí se navíjí na těleso cívky ovinuté jednou až třikrát izolačním prokladem. Jednotlivá vinutí se izolují navzájem a pak proti kostře alespoň jedenkrát drážkovou lepenkou 0,1 mm. Překrytí izolace po obvodu do 20 mm je třeba umístit tak, aby nezmenšovalo prostor okénka k jádru, tedy mimo okénko. Izolaci vinutí přichytíme technickou páskou. Tloušťka mezivrstvové izolace závisí na průměru vodiče. Prokládá se každá vrstva primárního a sekundárního vinutí nad 100 V. U vinutí s velkým počtem tenkých drátků se prokládá třetí až šestá vrstva papírem 0,03 mm nebo 0,065 mm.

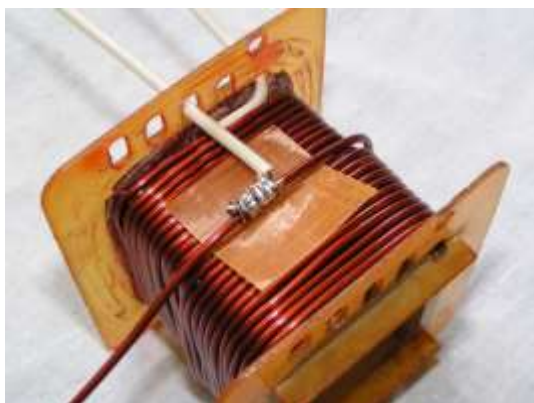
Tabulka 1: Průměry vodičů a síla mezivrstvové izolace

Průměr vodiče	Mezivrstvová izolace
do 0,25 mm	papír 0,03 mm
0,25–0,5 mm	papír 0,065 mm
nad 0,5 mm	drážková lepenka 0,15–0,4 mm

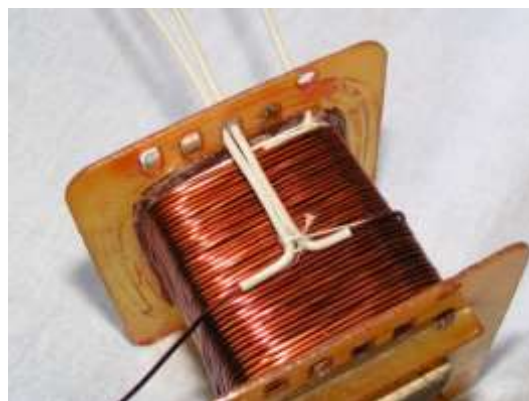
- Spojování prokladů zajišťujeme lepicí páskou. Šířka prokladu se volí podle šíře kostřičky cívky plus 2 až 3 mm na lem na každou stranu. Izolaci z obou stran třepíme. U cívek bez čel přesahuje mezivrstvová izolace vinutí o 2 až 6 mm na každé straně. Šířka lemu u izolace mezi jednotlivými vinutími (primárním - sekundárním) je min. 5 mm. Lem z obou stran opět třepíme.

- **Vývody a odbočky**

Všechny vývody vinutí musíme zajistit proti vytrhnutí plochou smyčkou. Vývody vinutí z tenkého drátku zesílíme stočením, silnějším vodičem nebo lankem. Vývody a odbočky od pájecího bodu pro zlepšení elektrické pevnosti izolujeme izolačními trubičkami. Pájecí bod přelepíme technickou páskou, nebo podložíme a přes pájecí bod přehneme pásek z drážkové lepenky.



OBRÁZEK 106 ODBOČKA – SILNÝ VODIČ



OBRÁZEK 107 ODBOČKA – SLABÝ VODIČ

- **Spojování vodičů**

Vodiče do $\varnothing 0,95$ mm se spojují, a to stočením čtyřikrát až pětkrát v délce 10 až 15 mm, spoj se zapájí a izoluje oboustranně textilní lepicí páskou. Vodiče většího průměru se spojí tak, že očištěné konce v délce 15 mm se pocínují, položí vedle sebe, ovinou měděným pocínovaným vodičem $\varnothing 0,3$ mm a spoj se zakape pájkou. Izoluje se drážkovou lepenkou 0,2 mm.

- **Izolační trubičky**

Pro izolaci vývodů vodičů i lanek používáme izolační trubičky těchto průměrů: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4 a 5 mm. Používáme izolační trubičky lakované a silikonové.

- **Ukončení vývodů**

Navinuté cívky se izolují ochrannou páskou nebo lepenkou, aby se vinutí chránilo před mechanickým poškozením. Vývody cívek jednotlivých vinutí se vyvedou do pájecích oček nebo na pájecí body a připájí se. Při větším počtu vývodů se tyto připojí na zvláštní svorkovnici. **Hodnoty napětí se vyznačí!**



OBRÁZEK 108 NAVINUTÝ JEDNOFÁZOVÝ TRANSFORMÁTOR

- **Stínění**

U bezpečnostních transformátorů dáváme mezi primární a sekundární vinutí stínící vinutí. Tvoří je pásek měděného plechu nebo jedna vrstva vinutí. Ze stínění vyvedeme jeden vodič a ten připojíme k ochranné svorce transformátoru spojené s kostrou.

- **POZOR!** Závit z pásku měděného plechu nesmí být spojen. Tvořil by závit nakrátko. Při jedné vrstvě vinutí uložíme začátek nebo konec vinutí izolovaně a druhou stranu vyvedeme na kostru transformátoru.

Impregnační technika

Impregnace je technologický proces, při kterém se vpravuje impregnační hmota do dutin a pórů vinutí elektrického stroje nebo přístroje.

Účel impregnace:

- zlepšení tepelné odolnosti izolantů použitých k izolování vodičů, drážek a vinutí
- zlepšení tepelné vodivosti izolace – zlepšení chlazení
- spojení vinutí do pevného celku
- ochrana izolace proti vlhkosti
- vytvoření hladké vrstvy na povrchu vinutí
- zvětšení elektrické pevnosti vlastních izolačních materiálů

Impregnace se skládá z těchto operací:

- sušení izolace vinutí pro odstranění vlhkosti;
- prosycování izolace vinutí impregnační hmotou, aby byly vyplněny dutiny a póry v izolačních materiálech;

- vytvrzení impregnační hmoty, aby došlo ke slepení vodičů a izolace vinutí;
- povrchová úprava vinutí, což je nátěr povrchu vinutí ochrannou vrstvou izolačního laku krycího emailu po impregnaci nebo zalití.

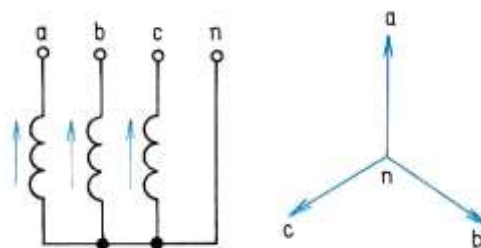
Spojování vinutí trojfázových transformátorů

- Tři samostatná vinutí na primární a sekundární straně trojfázového transformátorů jsou vyvedena na svorky tak, že jsou proti sobě vždy svorky téže fáze vyššího a nižšího napětí. Svorky vyššího napětí označujeme velkými písmeny, svorky nižšího napětí malými písmeny.

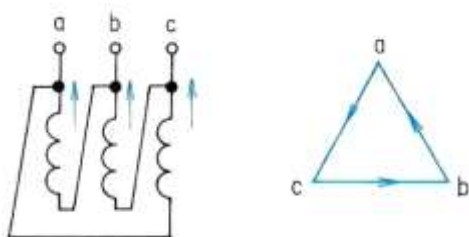


OBRÁZEK 109 VÍKO TŘÍFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU S IZOLÁTORY

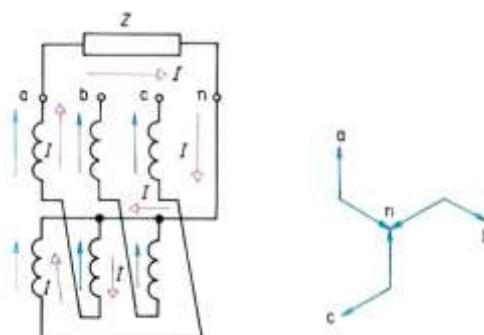
- Spojení vinutí je na štítku transformátoru vyznačeno velkým písmenem pro vyšší napětí, malým písmenem pro nižší napětí. Spojení do hvězdy se označuje **Y**, **y**, do trojúhelníku **D**, **d**, do lomené hvězdy **Z**.



OBRÁZEK 110 VINUTÍ TŘÍFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU SPOJENÉ DO HVĚZDY



OBRÁZEK 111 VINUTÍ TŘÍFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU SPOJENÉ DO TROJÚHELNÍKU



OBRÁZEK 112 VINUTÍ TŘÍFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU SPOJENÉ DO LOMENÉ HVĚZDY

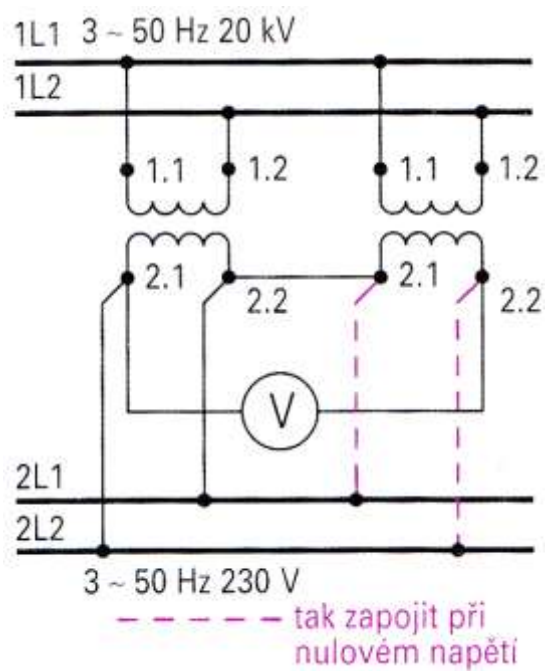
Trojfázové transformátory mohou mít různé kombinace zapojení např. Yd, Dy, Yz, Dd, Yy atd. Různými kombinacemi zapojení dosáhneme toho, že se indukované napětí na straně nižšího napětí posune o určitý úhel proti vyššímu napětí téže fáze. Toto fázové posunutí je buď 30° nebo násobek 30° a udává se hodinovým úhlem. $1h = 30^\circ$. Hodinový úhel se udává za znakem spojení vinutí a je důležitý pro paralelní chod transformátorů. Např. Yd1 znamená, že je vinutí na straně vyššího napětí zapojeno do hvězdy, na straně nižšího napětí do trojúhelníku a že nižší napětí je posunuto proti vyššímu o 30° .

Tabulka 2: Používaná zapojení trojfázových výkonových transformátorů

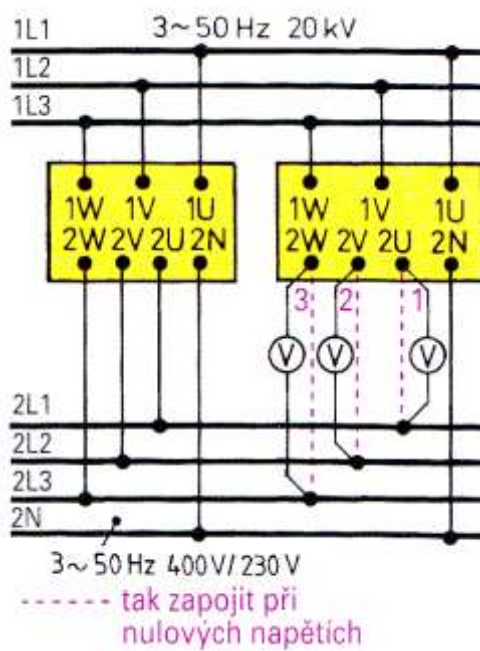
Označení		Vektorový diagram		Schéma zapojení		Převod	Použití
číslo	skupina	VN	NN	VN	NN	$u = U_1 : U_2$	
0	YyO					$\frac{N_1}{N_2}$	Transformátory pro souměrné zatížení. Zatížení v uzlu hvězdy max. 10 %.
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	Velké transformátory v rozvodnách, uzel hvězdy plně zatížitelný.
	Yd5					$\frac{\sqrt{3} \cdot N_1}{N_2}$	Hlavní transformátory velkých elektráren a transformačních stanic.
	Yz5					$\frac{2 \cdot N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	Malé rozvodné transformátory, uzel hvězdy plně zatížitelný.

Paralelní chod transformátorů

- Jestliže nestačí transformátor na dodávku elektrického výkonu, musíme k němu paralelně připojit další transformátor. Abychom mohli paralelně spojit dva transformátory, musí být u nich splněny tyto podmínky:
- Oba transformátory musí mít **stejně jmenovité napětí**, aby mezi nimi už při chodu naprázdno nevznikaly velké vyrovnávací proudy.
- Dále musí mít **stejně napětí nakrátko**. Při nestejném procentním napětí nakrátko by transformátor s nižším napětím nakrátko dodával větší výkon, než pro jaký je určen v porovnání s výkonem transformátoru s vyšším napětím nakrátko. Mohlo by se stát, že první transformátor by byl přetížen a druhý by nebyl plně zatížen. Jestliže paralelně spojíme transformátory s nestejným napětím nakrátko, nesmíme je zatížit celkovým výkonem odpovídajícím součtu jmenovitých výkonů jednotlivých transformátorů. Napětí nakrátko se mohou lišit maximálně o 10 %. Při větší než 10% odchylce je možno napětí nakrátko zvýšit předřadnou indukčností. Poměr jmenovitých výkonů by měl být menší než 3:1. Při větších poměrech mohou vyrovnávací proudy způsobit fázový posun mezi výstupními napětími.
- Pro paralelní chod trojfázových transformátorů musí být splněna ještě další podmínka. Transformátory musí mít **stejný sled fází** a stejný **hodinový úhel**, jinak by mezi transformátory vznikly vyrovnávací proudy.



OBRÁZEK 113 KONTROLA SLEDU FÁZÍ PŘI PARALELNÍM CHODU JEDNOFÁZOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ



OBRÁZEK 114 KONTROLA SLEDU FÁZÍ PŘI PARALELNÍM SPOJENÍ TROJFÁZOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ

Měření izolačního stavu

Měříme megmetrem, obdobně jako u motorů, izolační stav mezi jednotlivými fázemi, dále mezi fázemi a kotrrou. Měření se provádí před uvedením do provozu a po delší odstávce. U olejových transformátorů při delší odstávce může v nádobě zkondenzovat voda, která se usazuje v dolní části, kde může způsobit zkrat. Izolační stav můžeme i zkoušet zvýšeným napětím, což se děje hlavně při výrobě a před prvním uvedením do provozu.

Měření naprázdno

Připojíme-li vstupní vinutí na střídavé napětí U_1 a na výstupní vinutí nepřipojíme žádnou zátěž, říkáme, že transformátor pracuje naprázdno. Transformátor v tomto případě odebírá proud I_1 , kterému říkáme proud naprázdno, a který je třeba na vybuzení magnetického toku v jádře. V okamžiku připojení nezátíženého transformátoru k síti vznikne proudový náraz, který může být až 15krát větší než jmenovitý proud, protože impedance transformátoru je malá. Po vybuzení magnetického toku se proud transformátoru při chodu naprázdno ustálí a činí asi 3 % až 10 % jmenovitého proudu. Ztrátám naprázdno někdy říkáme ztráty v železe.

Na svorkách výstupního vinutí se indukuje napětí U_2 . Poměr napětí $\frac{U_1}{U_2}$ nazýváme **převod** nebo **též transformační poměr** (p).

Měření nakrátko

Výstupní svorky transformátoru jsou spojeny bezodporovou spojkou. Výstupní napětí U_2 se rovná nule a celé vstupní napětí U_1 se spotřebuje ve vinutí transformátoru. Do primárního obvodu je zapojen voltmetr a ampérmetr. Regulačním transformátorem napájíme primární vinutí tak, aby primárním vinutím protékal jmenovitý proud. Napětí na primární straně, při kterém protéká jmenovitý proud, říkáme napětí nakrátko U_k . Napětí nakrátko se udává v procentech jmenovitého vstupního napětí U_1 . Potom hovoříme o **procentním napětí nakrátko** u_k

$$u_k = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Napětí nakrátko bývá 2 % až 12 % podle konstrukce a velikosti transformátoru. Ztrátám nakrátko někdy říkáme ztráty v mědi.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Řez asynchronním elektromotorem
Obrázek 2 Stator asynchronního motoru
Obrázek 3 Rotor s kotvou nakrátko
Obrázek 4 Pohled na tři kroužky kroužkového rotoru
Obrázek 5 Rozložený asynchronní elektromotor
Obrázek 6 Vznik točivého magnetického pole statoru průchodem třífázového proudu
Obrázek 7 Drážka dvojité klece
Obrázek 8 Drážka vírové klece
Obrázek 9 Zapojení svorkovnice třífázového asynchronního elektromotoru
Obrázek 10 Starý a nový měřicí přístroj na měření izolačního stavu
Obrázek 11 Zkoušení izolačního stavu zvýšeným napětím
Obrázek 12 Demontáž svorníků
Obrázek 13 Demontáž ložního víčka
Obrázek 14 Vyražení rotoru
Obrázek 15 Demontovaný rotor
Obrázek 16 Vyražení zadního víka
Obrázek 17 Demontáž ložiska
Obrázek 18 Narážení ložiska
Obrázek 19 Uchycení zadního ložního víčka
Obrázek 20 Montáž ložního víčka
Obrázek 21 Sestavený elektromotor
Obrázek 22 Formulář, do kterého zapisujeme údaje o vinutí
Obrázek 23 Zjišťování paralelních vodičů v drážce = 2; spojení cívek = sériové
Obrázek 24 Vyrovnávání drážek
Obrázek 25 Ohýbání drážkové izolace podle vzoru
Obrázek 26 Vyhotovená drážková izolace a uzávěry drážek
Obrázek 27 Vyměření cívek
Obrázek 28 Zakreslení velikosti cívky na šablonu
Obrázek 29 Upnutí šablony na navíječku
Obrázek 30 Navíjení cívek
Obrázek 31 Navinutá cívka – trojcívka
Obrázek 32 Vkládání cívek soustředného vinutí
Obrázek 33 Vkládání cívek překládaného vinutí
Obrázek 34 Zabandážovaný věnec statoru překládaného vinutí
Obrázek 35 Prokladová izolace soustředného vinutí
Obrázek 36 Zapojený stator soustředného vinutí
Obrázek 37 Zkoušení izolačního stavu
Obrázek 38 Zatlačení uzávěrů přípravkem
Obrázek 39 Přípravky na zatlačení uzávěrů drážek
Obrázek 40 Složený elektromotor
Obrázek 41 Třífázový asynchronní elektromotor
Nd = 12, 2p = 2, y = 1 – 6, vinutí jednovrstvé překládané
Obrázek 42 Třífázový asynchronní elektromotor
Nd = 24, 2p = 2, y = 1 - 10, vinutí jednovrstvé překládané
Obrázek 43 Třífázový asynchronní elektromotor
Nd = 24, 2p = 4, y = 1 – 6, vinutí jednovrstvé překládané

- Obrázek 44 Třífázový asynchronní elektromotor
 $N_d = 36$, $2p = 4$, $y = 1 - 8$, vinutí jednovrstvé překládané
- Obrázek 45 Třífázový asynchronní elektromotor
 $N_d = 36$, $2p = 6$, $y = 1 - 6$, vinutí jednovrstvé překládané
- Obrázek 46 Třífázový asynchronní elektromotor
 $N_d = 36$, $2p = 2$, $y = 1 - 14$, vinutí jednovrstvé překládané
- Obrázek 47 Třífázový asynchronní elektromotor $N_d = 12$, $2P = 2$, $y = 1 - 6$, vinutí soustředné
- Obrázek 48 Třífázový asynchronní elektromotor $N_d = 12$, $2p = 4$, $y = 1 - 4$, vinutí soustředné
- Obrázek 49 Jednofázový asynchronní elektromotor $N_d = 8$, $2p = 2$
- Obrázek 50 Jednofázový asynchronní elektromotor $N_d = 16$, $2p = 4$, svorkovnice
jednofázového asynchronního elektromotoru
- Obrázek 51 Rotor synchronního stroje s budičem
- Obrázek 52 a) princip činnosti alternátoru, b) průběh indukovaných napětí v cívkách kotvy
- Obrázek 53 Řez alternátorem pro osobní automobil
- Obrázek 54 Pemanentně buzený synchronní elektromotor
- Obrázek 55 Detail rotoru synchronního motoru s vyniklými póly
- Obrázek 56 Detail tyče klecového vinutí pro rozběh synchronního motoru
- Obrázek 57 Detail rotujícího usměrňovače synchronního motoru
- Obrázek 58 Detail bezkroužkového propojení budiče a budícího vinutí synchronního motoru
- Obrázek 59 Stator střídavého jednofázového komutátorového elektromotoru
- Obrázek 60 Rotor komutátorového stroje
- Obrázek 61 Komutátor středně velkého komutátorového stroje
- Obrázek 62 Víka malého komutátorového stroje se sběrným ústrojím
- Obrázek 63 Rozložený komutátorový motor
- Obrázek 64 Princip stejnosměrného elektromotoru 1
- Obrázek 65 Princip stejnosměrného elektromotoru 2
- Obrázek 66 Princip stejnosměrného elektromotoru 3
- Obrázek 67 Sériový komutátorový elektromotor z ruční okružní pily
- Obrázek 68 Třífázový komutátorový motor n provedení Vinter
- Obrázek 69 Elektronicky komutovaný motor
- Obrázek 70 Jednofázový střídavý sériový motor z automatické pračky
- Obrázek 71 Kotvy komutátorových strojů: a) tvar I b) trojdrážková c) prstencová d) bubnová
- Obrázek 72 Schéma zapojení kotvy- 8 drážek, 8 lamel a uspořádání statoru
- Obrázek 73 Postup ručního navíjení kotvy způsobem D
- Obrázek 74 Vinutí tvaru v – sudý drážkový krok, sudý počet drážek,
vinutí přerušované, $N_d = 14$
- Obrázek 75 Ruční vinutí tvaru H: $N_d = 14$, $k = 14$, $2p = 2$, $2a = 2$
- Obrázek 76 Kotvička před navíjením
- Obrázek 77 Vinutí čtyřpólového stroje a) schéma vlnového vinutí kotvy
b) uspořádání vinutí statoru
- Obrázek 78 Vlnové vinutí kotvy startéru
- Obrázek 79 Pravidelné vlnové vinutí nekřížené: $N_d = 21$, $k = 21$, $2p = 4$, $2a = 2$; nahoře čelní
pohled na rotor – zvýrazněna první vlna vinutí; dole – lineární schéma
- Obrázek 80 Reakce kotvy
- Obrázek 81 Uspořádání vinutí dvoupólového stroje s pomocnými póly
a kompenzačním vinutím
- Obrázek 82 Schéma zapojení jednofázového sériového komutátorového elektromotoru
- Obrázek 83 Schéma zapojení dynam
- Obrázek 84 Schéma zapojení stejnosměrných elektromotorů
- Obrázek 85 Třífázový komutátorový derivační motor napájený do statoru

Obrázek 86 Třífázový komutátorový derivační motor napájený do rotoru
Obrázek 87 Zařízení na zjišťování závitových zkratů ve vinutí malých kotviček
Obrázek 88 Sonda přístroje k vyhledávání závitových zkratů Prüfrefx
Obrázek 89 Jádrový transformátor
Obrázek 90 Plášťový transformátor
Obrázek 91 Jádrový transformátor C-jádro
Obrázek 92 Toroidní transformátor
Obrázek 93 Navíječka pro toroidní transformátory
Obrázek 94 Třífázový olejový transformátor
Obrázek 95 Malý třífázový transformátor
Obrázek 96 Třífázový vzduchem chlazený transformátor
Obrázek 97 Princip jednofázového transformátoru
Obrázek 98 Schéma autotransformátoru
Obrázek 99 Autotransformátor
Obrázek 100 Měřicí transformátor napětí
Obrázek 101 Měřicí transformátor proudu
Obrázek 102 Rozptylový transformátor
Obrázek 103 Schéma transformátoru pro odporové svařování
Obrázek 104 Transformátor pro svařování s natáčecím jádrem
Obrázek 105 Nízkofrekvenční pecový transformátor
Obrázek 106 Odbočka – silný vodič
Obrázek 107 Odbočka – slabý vodič
Obrázek 108 Navinutý jednofázový transformátor
Obrázek 109 Víko třífázového transformátoru s izolátory
Obrázek 110 Vinutí třífázového transformátoru spojené do hvězdy
Obrázek 111 Vinutí třífázového transformátoru spojené do trojúhelníku
Obrázek 112 Vinutí třífázového transformátoru spojené do lomené hvězdy
Obrázek 113 Kontrola sledu fází při paralelním chodu jednofázových transformátorů
Obrázek 114 Kontrola sledu fází při paralelním spojení trojfázových transformátorů

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Průměry vodičů a síla mezivrstevové izolace

Tabulka 2: Používaná zapojení trojfázových výkonových transformátorů

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony*. Praha: BEN, 2008, ISBN 978-80-7300-092-9.
- [2] KNOTEK, Jaroslav; KNOTEK, Jaroslav. *Navíjení a převíjení malých elektrických strojů točivých*. Praha: SNTL, 1990, ISBN 80-03-00323-7.
- [3] VOŽENÍLEK, L.; LSTIBŮREK, F.. *Základy elektrotechniky*. Praha: SNTL, 1985, ISBN 04-522-85.
- [4] ŠÍPAL, J. *Elektrokové stroje 2* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: http://sipal.fvtm.ujep.cz/EIEI/EIEI_10.pdf
- [5] AUTOR NEUVEDEN. *Asynchronní motor* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: <http://referaty-seminarky.cz/asynchronni-motor/>
- [6] KOCMAN, Stanislav. *Asynchronní stroje* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: <http://p.kobrlc.sweb.cz/stroje/as-skriptum.pdf>
- [7] AUTOR NEUVEDEN. *Asynchronní generátor* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/asynchronni-generator.htm/>>
- [8] AUTOR NEUVEDEN. *Elektrické stroje* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: http://ok1zed.sweb.cz/s/el_generator.htm
- [9] NOVÁK, Ivo. *ICT v učivu elektromotorů na SŠ > Kapitola 3: Vznik točivého magnetického pole* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: <http://www.emotor.cz/vznik-tociveho-magnetickeho-pole.htm>
- [10] NOVÁK, Jaroslav. *Uplatnění synchronních strojů v dopravní technice (1. část)* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26832
- [11] AUTOR NEUVEDEN. *Synchronní motory DS, DSC, DSD, DSD-IPG* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: <http://www.baumuller.sk/index.php?page=synchronni-motory-DS-DSD-DSD-IPG>
- [12] AUTOR NEUVEDEN. *Trojfázové komutátorové motory* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupné: <http://www.spslevice.sk/soc-uceb-siz2007/Elektronicka%20ucebnica%20SIZ/HTML/3.f%20Komutatorovy%20motor/3f%20Komutatorovy%20motor.htm>
- [13] AUTOR NEUVEDEN. *Komutátorový stroj s permanentními magnety s dvoupólovou kotvou* [online]. [cit. 8.4.2013]. Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Synchronn%C3%AD_motor#Synchronn.C3.AD_stroj