

4. Elektrické stroje

Přeměňují elektrickou energii působením elektromagnetické indukce

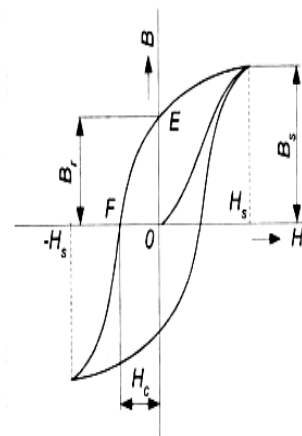
Rozděluje je:

- podle přeměny energie
 - generátory (mechanická energie → elektrická energie)
 - ss - dynamo
 - st - alternátor
 - motory (elektrická energie → mechanická energie)
 - měniče (elektrická energie → elektrická energie)
- podle pracovního napětí:
 - stejnosměrné
 - střídavé - 1 a 3 fázové
- podle principu na jakém pracují:
 - transformátory
 - indukční (asynchronní)
 - synchronní
 - stejnosměrné
 - střídavé s komutátorem

Hlavní části strojů:

- **magnetický obvod**

Je naskládán z dynamových nebo transformátorových plechů tloušťky 0,35-0,5mm, které jsou navzájem od sebe izolovány např. papírem, lakem nebo oxidem, abychom tak zamezili vzniku ztrát vířivými proudy. Další možné ztráty, které známe, jsou hysterezní ztráty. Ty souvisejí s plochou hysterezní smyčky daného materiálu magnetického obvodu. Abychom je omezili, potřebujeme materiál magnetický měkký s úzkou hysterezní smyčkou. Toho se docílí přidáním křemíku.



- **vinutí elektrických strojů**

Pro vinutí strojů se používají především vodiče o velké elektrické vodivosti. Nejpoužívanější je tedy elektrolytická měď, která je buď tvrdá tam, kde je nutná velká mechanická pevnost např. komutátor, nebo měkká pro vinutí strojů. Jako další používaný materiál je hliník, který má sice mechanické a elektrické vlastnosti horší než měď, ale má menší měrnou hmotnost. Využívá se především pro vinutí indukčních strojů s kotvou nakrátko, které se vyrábí formou tlakového lití.

- **izolace vodičů**

Izolace vodiče elektrického stroje má vodič izolovat proti magnetickému obvodu, v němž je uložen, proti sousedním vodičům a jiným neaktivním částem. Životnost elektrického zařízení závisí hlavně na jakosti a trvanlivosti použité izolace. Za obvyklých podmínek se předpokládá, že vydrží izolace 20 let. Trvanlivost materiálů používaných na izolace závisí na mnoha činitelích, ale z těchto činitelů je nejdůležitější teplota. Používáme na vinutí smaltované vodiče, které bývají dvakrát opředeny bavlnou. Pro vyšší teploty se k opředení používá skelného vlákna.

Ztráty a účinnost strojů:

V každém elektrickém stroji se část přiváděné energie mění v energii tepelnou, která se ve stroji nevyužije a představuje ztráty. Ztrátami je dána účinnost a ekonomické využití stroje.

Ztráty lze rozdělit:

- ztráty mechanické P_{mech} - jsou způsobené třením rotačních částí (ložiska, kartáče)
- ztráty v magnetickém obvodu, označované jako ztráty v železe P_{fe} – skládají se ze ztrát vířivými proudy P_v a hysterezních ztrát P_h
- ztráty ve vinutí označovány jako Joulovy ztráty P_j – jsou způsobené průchodem proudu ve vinutí, v závislosti na odporu vodiče
- ztráty dodatečné P_d – jsou způsobeny vyššími harmonickými

Potom můžeme použít vztah k výpočtu účinnosti:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_z}{P_1} = 1 - \frac{P_z}{P_1} \quad [-]$$

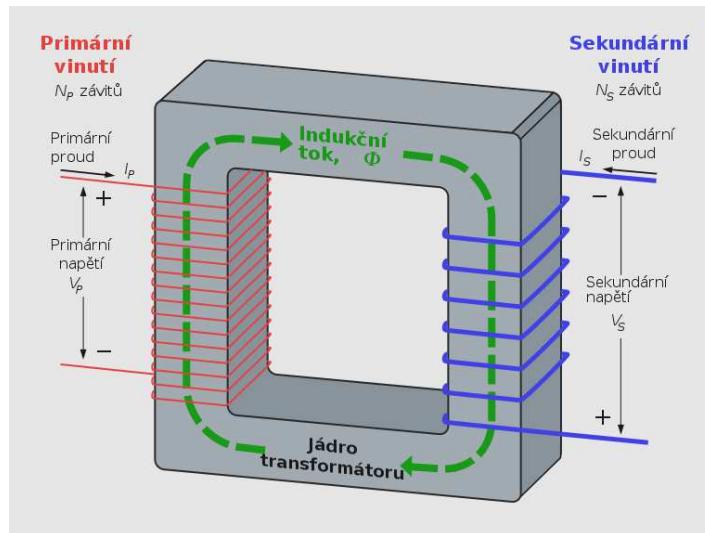
P_1 - příkon stroje

P_2 – výkon stroje

P_z – ztráty stroje, dány součtem všech dílčích výše uvedených ztrát.

4.1 Transformátory

Je to netočivý elektrický stroj, který se používá ke změně střídavého napětí při stálém kmitočtu.



Princip funkce:

- na magnetickém obvodu jsou navinuty dvě cívky (primární, sekundární) s různým počtem závitů N_1 , N_2
- protéká-li primární cívkou se závitů N_1 střídavý proud i_1 , vyvolá to v obvodu magnetický tok Φ , který se bude v čase měnit a tato časová změna $\Delta\Phi/\Delta t$ naindukují na svorky sekundární cívky se závitů N_2 napětí u_2
- bude-li k sekundárním svorkám připojena zátěž, bude obvodem procházet proud i_2
- převod transformátoru nám pak určuje změnu vstupního na výstupní napětí

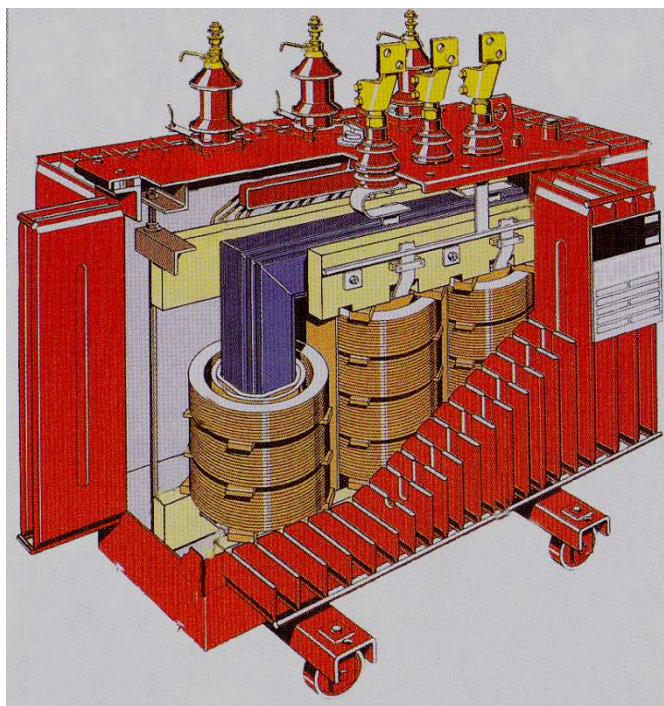
$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad [-]$$

Složení transformátoru:

- Magnetický obvod – skládá se z jader a spojek, je to uzavřený obvod, bez vzduchových mezer, složený z transformátorových plechů.
- Vinutí – je navinuto na magnetickém jádře, vždy 1 jádro představuje jednu fázi, obvykle se navíjí cívka nižšího a na ní cívka vyššího napětí.
- Nádoba – v ní je uložen magnetický obvod s vinutím. Chlazení vinutí je v nádobě zajištěno cirkulujícím vzduchem, častěji olejem. Je důležité, aby nádoba byla dokonale naplněna olejem, proto je na transformátoru umístěna dilatační nádoba s olejovým znakem. Pro lepší odvod tepla je nádoba upravena to

tvaru chladících žebér a trubek. Pro lepší manipulaci je ke dnu připevněn podvozek.

- Víko – uzavírá se s ním transformační nádoba a jsou na něm umístěny další přístroje. Najdeme na něm průchodky, na které jsou vyvedené konce cívek. Je tam přepínač odboček, který umožňuje minimálně hrubé řízení napětí $\pm 5\%$. Jako ochranný prvek je na něm plynové relé, které zajišťuje odpojení transformátoru při poruše.



4.2 Asynchronní (indukční) motory

Protože se asynchronní stroje používají nejčastěji jako motory, vysvětlíme si jejich princip na **třífázovém motoru**:

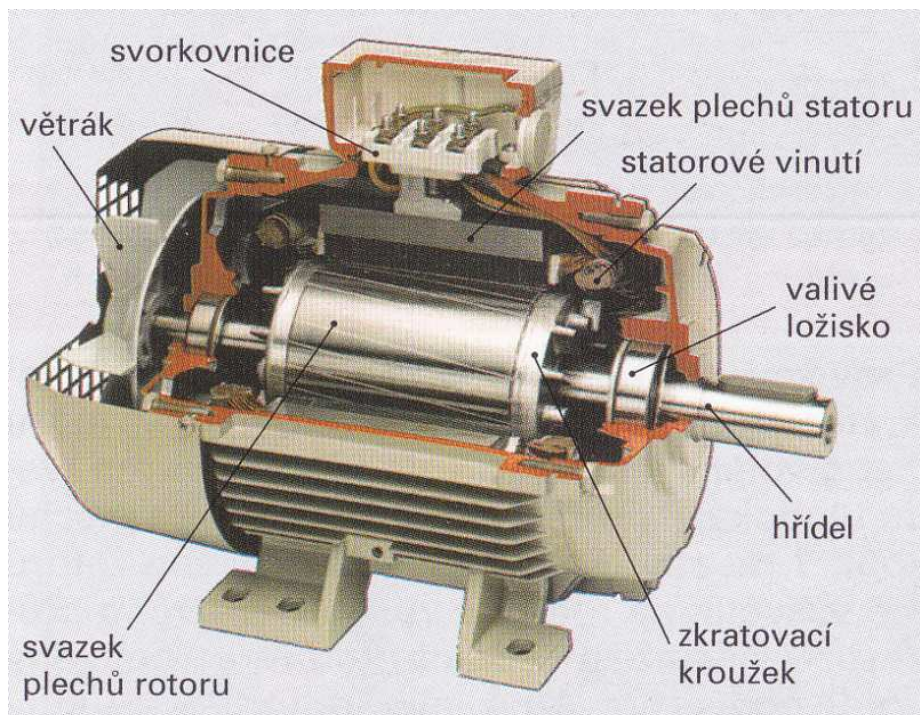
- je to točivý elektrický stroj, velmi jednoduchý, spolehlivý, nejpoužívanější
- jeho magnetický obvod je vzduchovou mezerou rozdělen na 2 části - rotor a stator. Obě části jsou opatřeny vinutím
- statorové vinutí je připojeno na zdroj střídavého třífázového proudu a ten vytvoří točivé magnetické pole, které naindukuje napětí do rotorového vinutí. Protože je rotorové vinutí spojené nakrátko, začne jím protékat proud, který vybudí své magnetické pole. Toto pole spolu s točivým magnetickým polem statoru vytvoří sílu (točivý moment), která roztočí rotor
- točivé magnetické pole statoru se otáčí synchronními otáčkami n_s , které jsou přímo závislé na frekvenci napájecího proudu
- n jsou otáčky motoru, pro které platí, že jsou menší než n_s (jsou tedy asynchronní) a s rostoucím zatížením se mohou zmenšovat
- parametr, který určuje toto zpomalování a tím kvalitu stroje je skluz, jeho hodnota je v rozmezí (1-15)%, průměrně je cca 5%, čím větší skluz, tím horší stroj

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

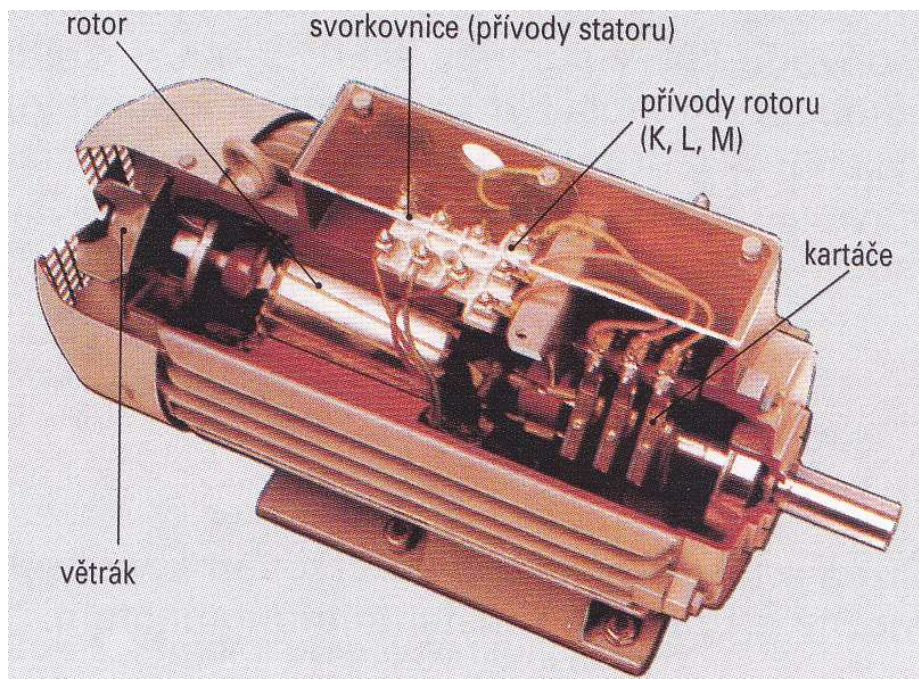
- každý asynchronní stroj může pracovat jako: motor, generátor, brzda, měnič kmitočtu

Podle rotorového vinutí se motory dělí:

- s kotvou nakrátko (klecový) - má rotorové vinutí vytvořeno v drážkách pomocí tepla a pod tlakem vstříknutého hliníku, který zaplní drážky a tak vytvoří tyče, které jsou po obou stranách spojeny vodivým kruhem, tak se vytvoří klec
 - mezi jeho výhody patří: jednoduchý a nenáročný, velká přetížitelnost a účinnost
 - mezi nevýhody se řadí: velký záběrný moment a malý záběrný proud



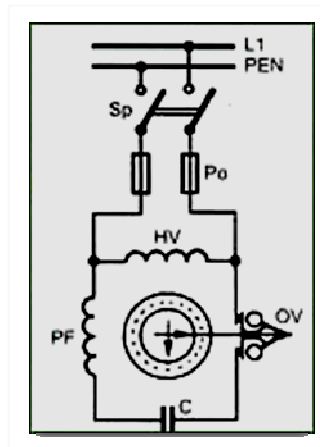
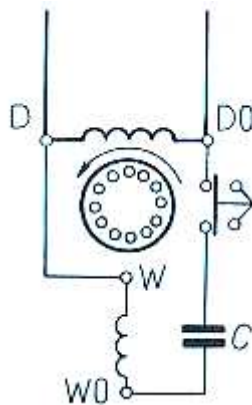
- kroužkový - vinutí rotoru je provedeno vodičem a vyvedeno na kroužky na hřídeli



4.2.1 Jednofázový asynchronní motor

Podle statorového vinutí se motory dělí:

- třífázové (viz výše)
 - jednofázové (viz níže)
- **jednofázový motor** se sám neroztočí, protože jeho magnetické pole statoru není točivé, ale pouze pulsující (je vytvořeno pouze jednou fází)
 - musíme ho tedy roztočit alespoň na $20\%n_s$
 - provádí se to buď mechanicky, nebo pomocným rozběhovým vinutím, které je vůči hlavnímu vinutí zapojeno tak, aby vznikl fázový posun 90°
 - fázového posunu docílíme nejčastěji zapojením kondenzátoru, jehož kapacita splňuje $C \geq 68 \cdot P [\mu F, kW]$
 - rozběhové vinutí není obvykle dimenzováno na trvalý chod, proto se musí po rozběhnutí motoru odpojit, to se provede pomocí časového relé, nebo odstředivým vypínačem



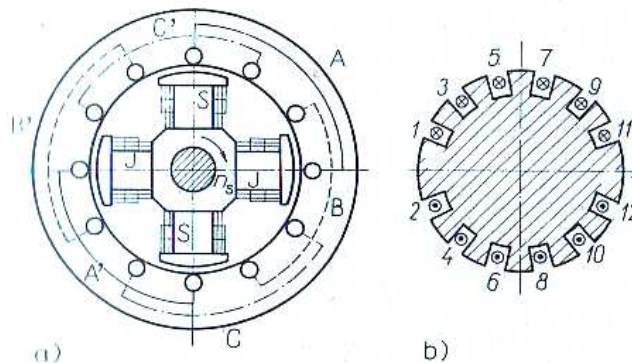
4.3 Synchronní stroje

Nemají skluz, rotor se otáčí současně s točivým magnetickým polem. Nejčastěji se využívají jako alternátory, nebo motory – kompenzátory.

Složení:

- stator - stejný jako u asynchronních strojů
- rotor - podle jeho uspořádání rozlišujeme
 - hladký rotor b) – je to magnetický válec s drážkami, ve kterých je uloženo budící vinutí napájené stejnosměrným proudem

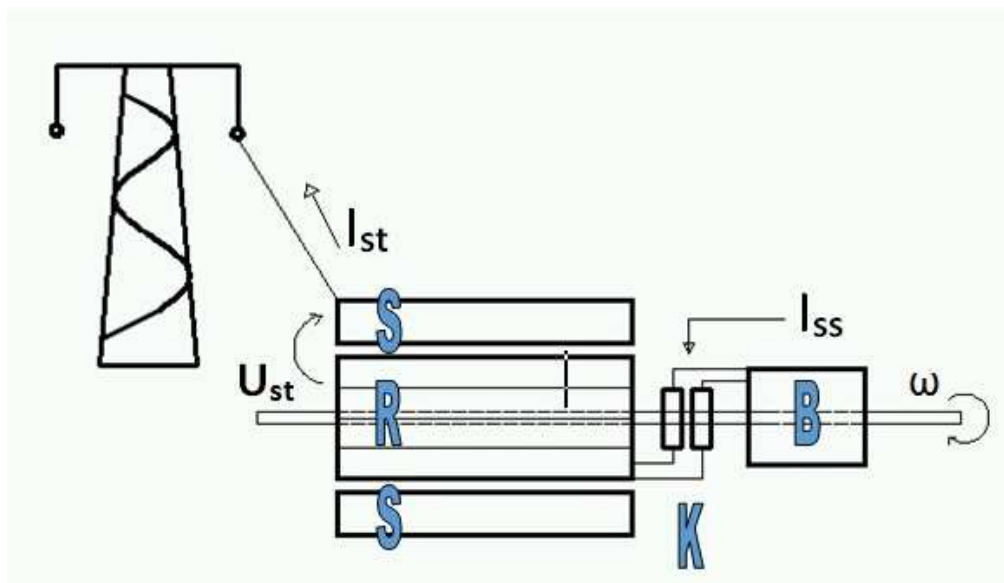
- rotor s vyniklými póly a) – je to magnetické kolo, na něm upevněn určitý počet pólů a každý pól má svou budící cívku napájenou stejnosměrným proudem



- budič – představuje zdroj stejnosměrného proudu, obvykle derivační dynamo, uložené na společné hřídeli s rotorem, budící proud dynama se přivádí do rotoru prostřednictvím dvou kroužků a kartáčů

4.3.1 Synchronní alternátory

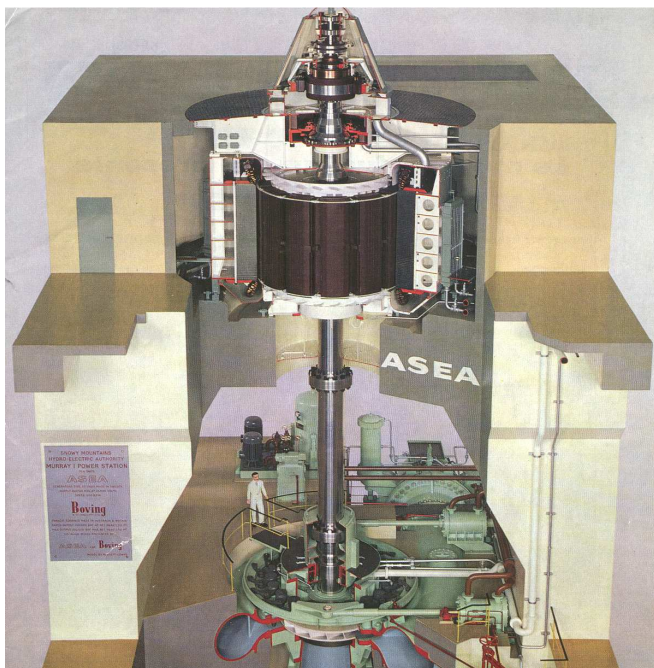
- pomocí turbíny, která je na společné hřídeli s rotorem a budičem se rotor otáčí a jeho budícím vinutím začne procházet stejnosměrný proud vyrobený budičem
- tím, že se rotor otáčí, vytvoří se jeho točivé magnetické pole, které naindukuje do statorového vinutí napětí a po jeho zapojení k síti z něj můžeme odebírat střídavý proud



Rozdělení alternátorů:

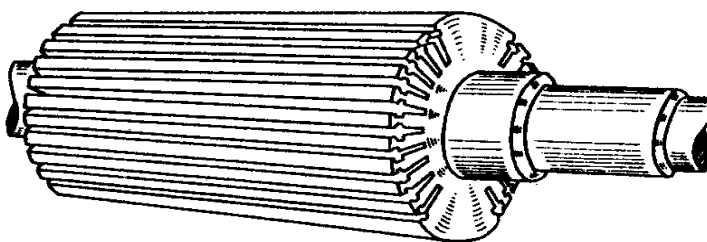
Hydroalternátor

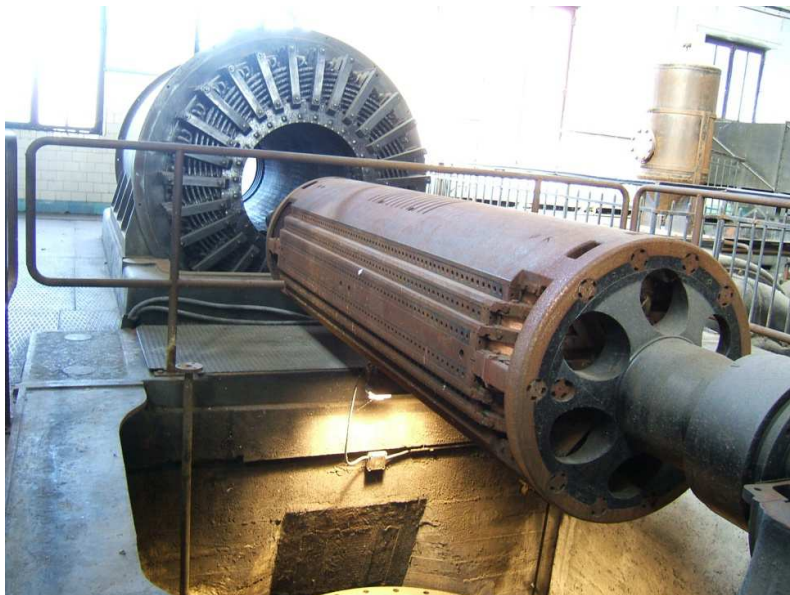
- využití ve vodních elektrárnách
- rotor je s uspořádáním s vyniklými póly
- hřídel má buď vodorovnou, poháněnou Peltonovou turbínou nebo svislou (častěji), která je poháněna Francisovou nebo Kaplanovou turbínou
- rozměry mohou být až: Ø10m, výška 3m



Turboalternátor

- využití v tepelných a jaderných elektrárnách
- rotor je v uspořádání jako hladký rotor
- hřídel má vodorovnou, poháněnou parní nebo plynovou turbínou
- rozměry mohou být až: Ø1,2m, délka 12m





4.3.2 Synchronní motory – kompenzátory

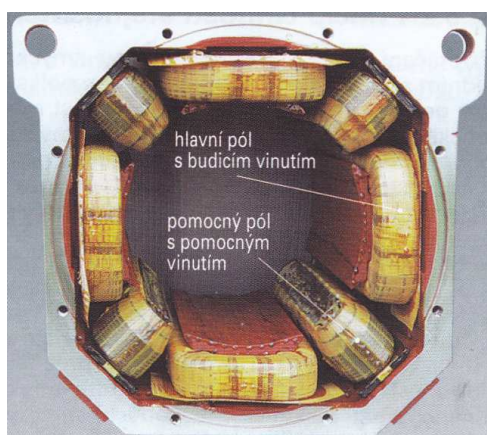
- konstrukce je shodná s alternátorem, mají však řadu nevýhod a tudíž omezené použití
- nevýhody: špatně se spouští, špatná regulace otáček
- použití:
 - velké průmyslové stroje - čerpadla a ventilátory na dolech
 - krokové motorky u cyklických pohybů (hodinové strojky)
- výhoda: zároveň může pracovat jako kompenzátor, což znamená, že vyrovnává účinník v sítích na $\cos \varphi = 0,9$ (zlepšuje poměr činného P a jalového Q výkonu v síti, potřebujeme, aby co při největším činném výkonu, byl jalový co nejmenší)

4.4. Stejnosemné stroje

Jejich využití je především v elektrické trakci. Každý stroj lze použít jako motor nebo dynamo.

Složení:

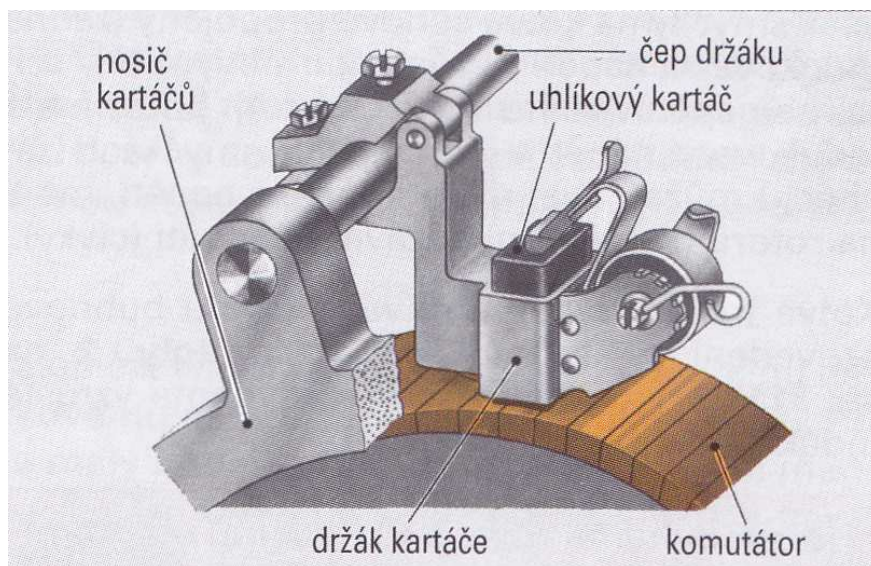
- stator - je to magnetické kolo s póly magnetu s budícími cívkami



- rotor (kotva) - je to magnetický válec s drážkami a v nich vinutí vyvedené na komutátor



- sběrací ústrojí – je to komutátor složen z měděných lamel, na které přiléhají kartáče, funguje jako mechanický usměrňovač nebo střídač



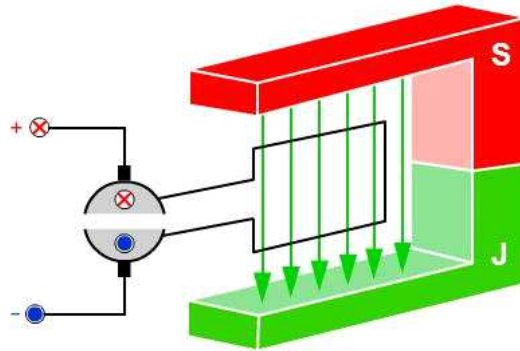
Princip činnosti:

Jako dynamo:

- stator vytvoří magnetické pole
- otáčíme-li hřídel s kotvou v magnetickém poli statoru, naindukuje se do ní **střídavé napětí**
- konce závitů vinutí jsou připojeny k lamelám komutátoru, na které dosedají pevně umístěné kartáče a tak se odebírá pulzující napětí
- čím více závitů a lamel, tím méně je zvlněné **stejnoseměrné napětí**

Jako motor:

- stator vytvoří magnetické pole
- do kotvy se přes komutátor přivede stejnosměrný proud
- silové působení magnetického pole statoru a proudu v kotvě roztočí rotor



Otáčky stroje:
$$n = \frac{U}{c \cdot \phi} \quad [\text{ot/min, U, -, Wb}]$$

C – konstanta vyjadřující neproměnlivé vlastnosti stroje

Výhody stejnosměrného stroje:

- regulace otáček v širokém rozmezí
- změnou směru proudu v buzení (ve statoru) nastane změna směru proudu v kotvě a tím proud odebíraný se změní v proud dodávaný, tzn., že změna buzení změní stroj z motoru na dynamo a naopak (využití v elektrické trakci, při brzdění)

4.5 Střídavý komutátorový motor

- je to stroj, který spojuje výhody říditelnosti otáček stejnosměrného stroje s možností připojení ke střídavé síti
- složení: stator – jako u asynchronního stroje, vzniká v něm točivé magnetické pole
rotor – jako u stejnosměrného motoru, kotva s komutátorem
- na komutátor dosedají 3 sady kartáčů posunuté o 120°(třífázový stroj) nebo 2 sady posunuté o 180°(jednofázový stroj)
- natáčením kartáčů se řídí otáčky stroje
- využití – průmyslové: obráběcí stroje, textilní a papírenský průmysl
– spotřebitelské: mixéry, vysavače, vrtačky

4.6 Zvláštní druhy motorů

Krokový motor

- speciální synchronní motor, jehož otáčení kolem hřídele není plynulé, ale složeno z dílčích stejně velkých pohybů - kroků
- řízení jednotlivých kroků umožňují napěťové impulzy přiváděné do statoru
- využití: hodiny, automatické linky, válcovací stolice

Lineární motor

- může pracovat na principu asynchronních, synchronních i stejnosměrných strojů
- statorové a rotorové vinutí je rozloženo do roviny
- takto vzniká místo točivého magnetického pole, pole postupné, které svým silovým působením vyvolává posuvný pohyb
- využití: elektrická doprava

