

Stejnsměrné stroje

- každý stejnsměrný stroj může pracovat jako motor nebo jako generátor (dynamo),
- přes svoji vyšší cenu a složitější konstrukci mají nezastupitelné místo v některých oblastech využití - výzbroj automobilů a letadel, pohony v elektrické trakci, pohony v automatizovaných systémech, ...

Konstrukce:**- stator:**

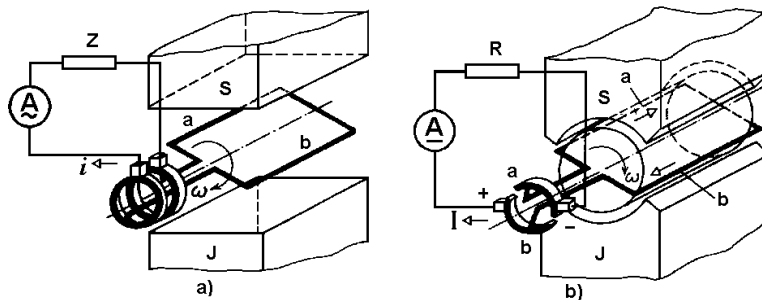
- vytváří stálý magnetický tok jednoho směru,
- magnetický obvod statoru je tvořen u menších strojů ocelovým odlitkem, u velkých strojů se používá svařovaná konstrukce nebo konstrukce složená z tlustších plechů, (u malých motorků se používá podkovovitý permanentní magnet),
- k magnetickému věnci (jhu) jsou přišroubovány póly z 1 mm silných snýtovaných plechů, pól je obepnutý budícím vinutím,
- konce pólů obsahují pólové nástavce obepínající asi 70% pólové rozteče = pólové krytí,
- $\alpha = 0,7$ až $0,8$ pro stroj bez komutačních pólů a $\alpha = 0,65$ až $0,7$ stroj s komutačními póly,
- mezi rotorem a pólovými nástavci statoru je konstantní vzduchová mezera, ale na koncích pólů se vzduchová mezera rovnoměrně zvětšuje, konstantní vzduchová mezera umožní vytvořit pod póly téměř konstantního průběhu magnetické indukce,
- v rotoru indukované napětí má lichoběžníkový průběh s plynulými přechody usnadňujícími komutaci (plynulých přechodů se dosahuje skosením konců pólových nástavců popsáním výše),
- vinutí budících cívek (sudý počet) jsou zapojena do série a jednotlivé póly se střídají v pořadí S-J-S-J...

- rotor:

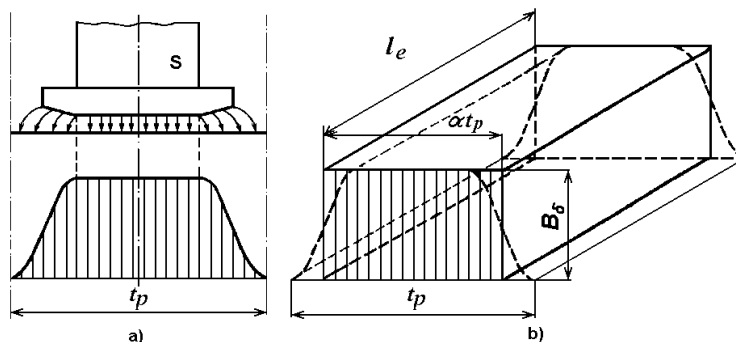
- otáčí se v magnetickém poli statoru \Rightarrow ve vinutí rotoru se indukují napětí,
- magnetický obvod je složen z izolovaných plechů tlustých $0,5$ mm nalisovaných na hřídel rotoru (v rotoru se indukují napětí střídavého průběhu),
- v drážkách rotoru je vinutí připojené na komutátor – mechanický prepínač – usměrňovač,
- měděné lamely komutátoru jsou vzájemně izolovány,
- na komutátor dosedají uhlíkové kartáče nesené držáky kartáčů upevněných ke statoru,
- pružiny vytváří stálý tlak uhlíků na komutátor,
- uhlík současně překrývá 2 až 3 lamely komutátoru a spojuje vinutí rotoru se svorkami stroje,
- vinutí kotvy (rotoru) je nejčastěji dvouvrstvé (dvě cívky v jedné drážce) – smyčkové (nekrížené- ~~křížené~~), kdy je konec cívky přiveden na následující lamelu, nebo vlnové, kdy je konec cívky přiveden na lamelu vzdálenou dvě pólové rozteče ($2\tau_p$),
- krok vinutí se přibližně rovná pólové rozteči (aby se v něm zajistilo indukování maximálního napětí).

Princip generátoru (dynama):

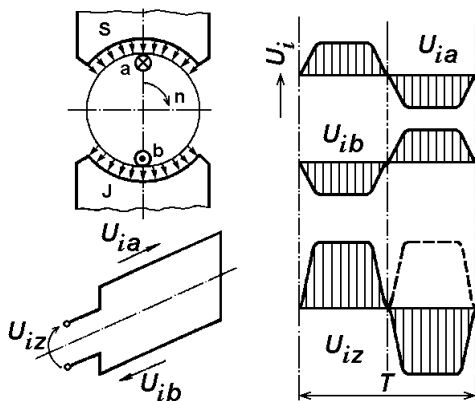
- statorové vinutí vytvoří stálý magnetický tok,
- ve vodiči rotoru (kotvy) otáčejícím se v magnetickém poli statoru se indukují napětí (směr je dán pravidlem pravé ruky),
- pokud nebude mít stroj komutátor bude výsledné indukované napětí kotvy střídavé s přibližně lichoběžníkovým průběhem,
- v magneticky neutrální poloze mezi póly statoru se nachází kartáče dosedající na komutátor, komutátor zajišťuje přepínání otáčejícího se rotorového vinutí,
- poloha kartáčů je volena tak, aby ke komutaci docházelo při nulovém napětí ve vinutí kotvy (při nejmenší změně magnetického toku) – u dvupólového stroje je to střed stroje a poloha kartáčů je kolmá na směr magnetického toku,

**Konstrukce točivých strojů**

- a) střídavý generátor se sběracími kroužky
- b) dynamo s komutátorem

**Magnetické pole stejnsměrného stroje**

- a) průběh napětí magnetického napětí pod jedním pólem
- b) magnetický tok jednoho pólu

**Napětí indukovaného v jednom závitu**

- U_{ia} , U_{ib} – průběh před komutací,
- U_{iz} – průběh po komutaci

napětí indukované pohybem vodiče:

$$u_i = B \cdot l_e \cdot v \quad [V; T, m, m \cdot s^{-1}]$$

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot p \cdot t_p \cdot n}{60}$$

kde: D – průměr cívky vinutí rotoru,
p – počet pólových dvojic,
t_p – pólová rozteč,
n – otáčky stroje,

- napětí indukovaná ve dvou stranách jednoho závitu se sčítají, potom pro indukované napětí platí:

$$U_i = \frac{2 \cdot p \cdot 2 \cdot N_s}{60} \cdot \Phi \cdot n \quad [V; Wb, \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}]$$

kde: N_s – počet v sérii zapojených závitů,
Φ – tok hlavních pólů,

- pro pulsující průběh indukovaného napětí na svorkách dynamu platí:

$$U_i = 4 \cdot N_s \cdot \Phi \cdot f \quad [V; Wb, \text{Hz}]$$

kde: f – kmitočet indukovaného napětí, ($f = 2 \cdot p \cdot n$)

- po zavedení konstanty stroje pro indukované napětí platí:

$$U_i = c \cdot \Phi \cdot n \quad [V; Wb, \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}]$$

- pro nenasyčený magnetický obvod ($\phi \approx I_b$) platí:

$$U_i = c_1 \cdot I_b \cdot n$$

Princip motoru:

- statorové vinutí vytváří stálý magnetický tok,
- na vodič kotvy, kterým přes komutátor protéká napájecí proud, působí podle pravidla levé ruky (Lenzova pravidla) síla, pro její velikost platí:

$$F = B \cdot I \cdot l_e \quad [N; T, A, m]$$

kde: B – je velikost indukce ve vzduchové mezeře
I – proud kotvy,

l_e – efektivní délka vinutí kotvy (pod póly statoru),

- velikost síly je dána počtem závitů N (2N vodičů) vinutí kotvy, kterými protéká proud I

$$F = 2 \cdot N \cdot B \cdot I \cdot l_e \quad [N; T, A, m]$$

- tato síla bude vytvářet točivý moment rotoru:

$$M = F \cdot r \quad [N \cdot m; N, m]$$

kde: r – je poloměr středu závitu (vinutí rotoru),

- motor bude při n stáčkách předávat zátěži na hřídeli výkon:

$$P = \omega \cdot M = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot M \quad [W; \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}, N \cdot m]$$

- při otáčení rotoru se v jeho vinutí indukuje napětí, které působí proti napětí zdroje (= úbytek napětí),
- velikost indukovaného napětí rozhoduje o velikosti proudu kotvy:

$$I_a = \frac{U - U_i - \Delta U_k - \Delta E}{R_a} \quad [A; V, \Omega]$$

kde: U – napájecí napětí,

R_a – je odpor kotvy,

ΔU_k – úbytek napětí na kartáčích je téměř konstantní (0,5 až 2) V – obvykle ho lze zanedbat,

ΔE – úbytek indukovaného napětí v důsledku reakce kotvy – u strojů s pomocnými póly je nulový,

- úbytek napětí na kartáčích je téměř konstantní ΔU_k=(0,5 až 2) V - za určitých okolností ho lze zanedbat,
- pro otáčky motoru platí:

$$n = \frac{U_i}{C \cdot \Phi}$$

kde: C – je konstanta stroje

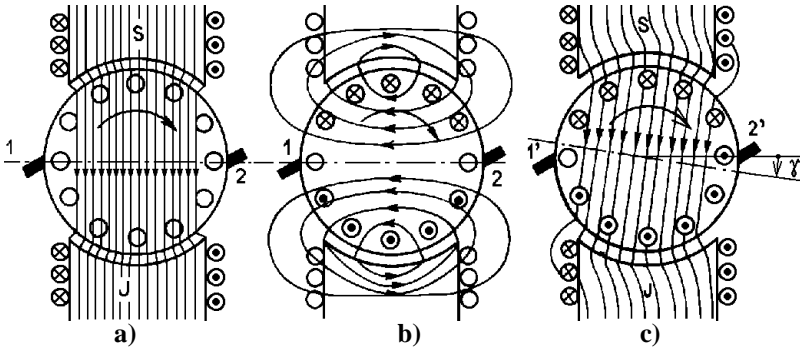
- otáčky motoru lze zvyšovat:
 - zvyšováním napájecího napětí U,
 - snižováním budícího proudu (toku Φ).

Podle buzení se stejnosměrné stroje dělí:

- **s cizím buzením** – budící vinutí je napájeno z nezávislého zdroje – baterie, dynamo, jiné sítě...
- **derivační** – budící vinutí je zapojeno paralelně k vinutí kotvy (rotoru),
- **sériové** – budící vinutí je zapojeno do série s vinutím kotvy,
- **smíšené (kompaktní)** – část vinutí je zapojena do série a část vinutí paralelně s vinutím kotvy.

Reakce kotvy

- je zpětné působení proudu kotvy na hlavní magnetické pole (budícího vinutí),
- začne-li vinutím kotvy dynama protékat proud vytvoří se okolo vodičů kotvy magnetické pole – příčný magnetický tok = reakce kotvy,
- tento tok způsobí posunutí (natočení) výsledného toku procházejícího vinutím kotvy, tím dojde k natočení neutrální osy, ve které má docházet ke komutaci,
- zvýšené sycení jedné strany pólu způsobí zvýšení magnetického odporu této strany pólu, současně dojde ke snížení sycení druhé strany pólu, výsledkem je snížení indukovaného napětí ve vinutí kotvy,
- v důsledku natočení se značně zhorší podmínky pro komutaci, ke které pak nedochází při nulové hodnotě napětí, a na komutátoru dochází při velkém zatížení k intenzivnímu jiskření,
- stejným způsobem se chová i motor,
- natočení neutrální osy je závislé na zatížení – u dynam je ve směru otáčení, u motoru ve směru opačném ke směru otáčení,



Reakce kotvy

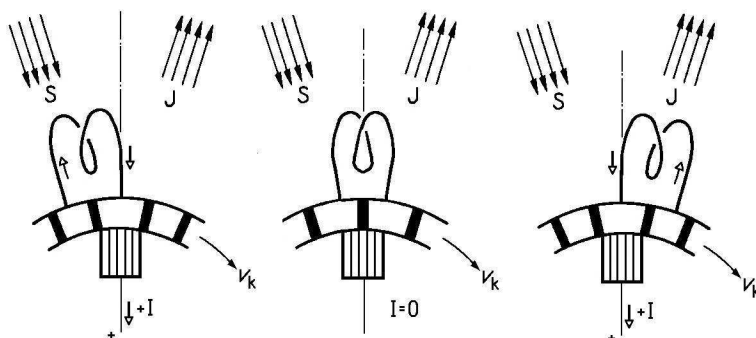
- a) magnetický tok hlavních pólů,
- b) magnetický tok vinutí kotvy,
- c) výsledný magnetický tok

Vliv reakce kotvy se zmírní:

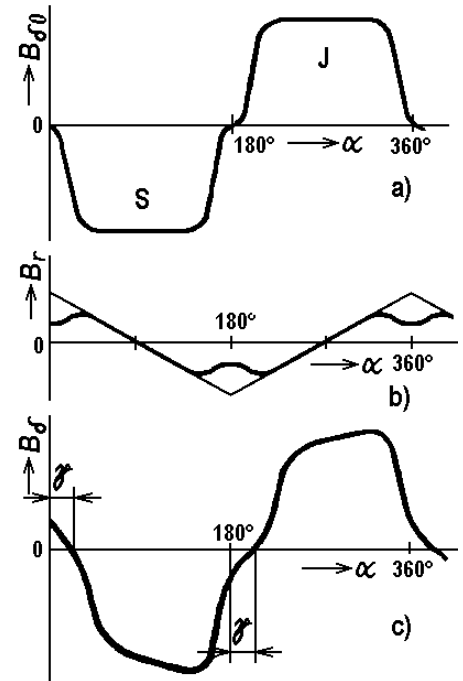
- 1) zvětšením magnetického napětí hlavních pólů,
- 2) zvětšením magnetického odporu v cestě reakčního toku – zářezem v ose pólů – užívalo se u prvních strojů,
- 3) potlačením reakce kotvy kompenzačním vinutím – vinutí je zapojeno v sérii s kotvou a jeho tok působí proti toku vinutí kotvy, vinutí je uloženo v drážkách pólového nástavce – vinutí je drahé a proto se používá pouze u velkých strojů,
- 4) vinutí komutačních pólů částečně potlačuje reakci kotvy magnetickým tokem ve směru neutrální roviny, výsledkem je „narovnání průběhu výsledného toku“ procházejícího kotvou v neutrální ose stroje.

Komutace

- kartáč pohybující se po komutátoru postupně spojuje jednotlivé lamely s připojeným vinutím kotvy,
- při komutaci se mění v komutující cívice směr proudu, obecně v důsledku velké indukčnosti vinutí kotvy nedochází k rovnoměrné změně směru proudu z kladného na záporný (jeho hodnota je dána zátěží), a zpočátku pozvolný průběh změny proudu nabývá maximální hodnoty na konci komutace, v důsledku indukčnosti se v cívice indukuje velké reakční napětí, které je příčinou jiskření komutátoru,
- aby se kartáč pohyboval po komutátoru s co nejmenším jiskřením, musí ke komutaci docházet v neutrální (nulové) poloze, kdy je změna magnetického toku v cívice nulová (nejmenší), tato osa prochází středem rotoru a je kolmá na směr budícího toku,



Změna smyslu proudu v komutující cívice



Vliv reakce kotvy na průběh magnetické indukce ve vzduchové mezeře

- a) magnetické pole budícího vinutí,
- b) magnetické pole reakce kotvy
- c) výsledné magnetické pole

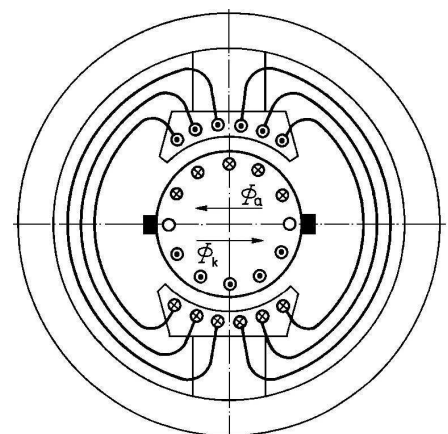


Schéma zapojení kompenzačního vinutí a směry magnetických toků

Komutace je negativně ovlivněna:

- 1) vlastní indukčností komutující cívky,
- 2) reakcí kotvy – cívky nekomutují v neutrální poloze,
- 3) cívka kotvy obsahuje mnoho závitů a v nulové poloze se nachází pouze část vinutí \Rightarrow nekomutuje se nulové napětí,

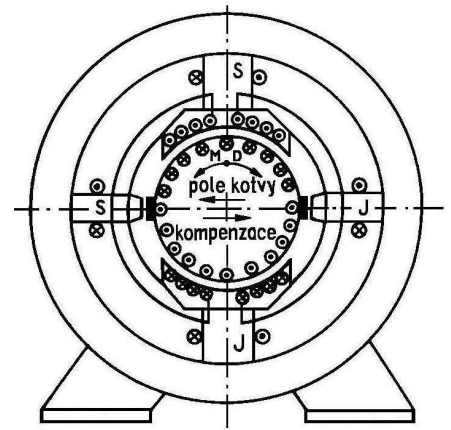
Zlepšení podmínek komutace (problémy nelze úplně odstranit):

- 1) posunutí (natočením) kartáčů o odpovídající úhel tak, aby se v komutujícím vinutí indukovalo napětí působící proti reakčnímu napětí komutátoru,
- 2) použití kompenzačních pólů – úzké póly s vinutím zapojeným do série s vinutím kotvy, u dynamu následuje ve směru otáčení **za severním pólem jižní**, u motoru pak severní, komutační póly se vybavují stroje s průměrem větším než 17 cm, komutační póly jsou zapojeny do série a póly těchto strojů se nemají přepojovat.

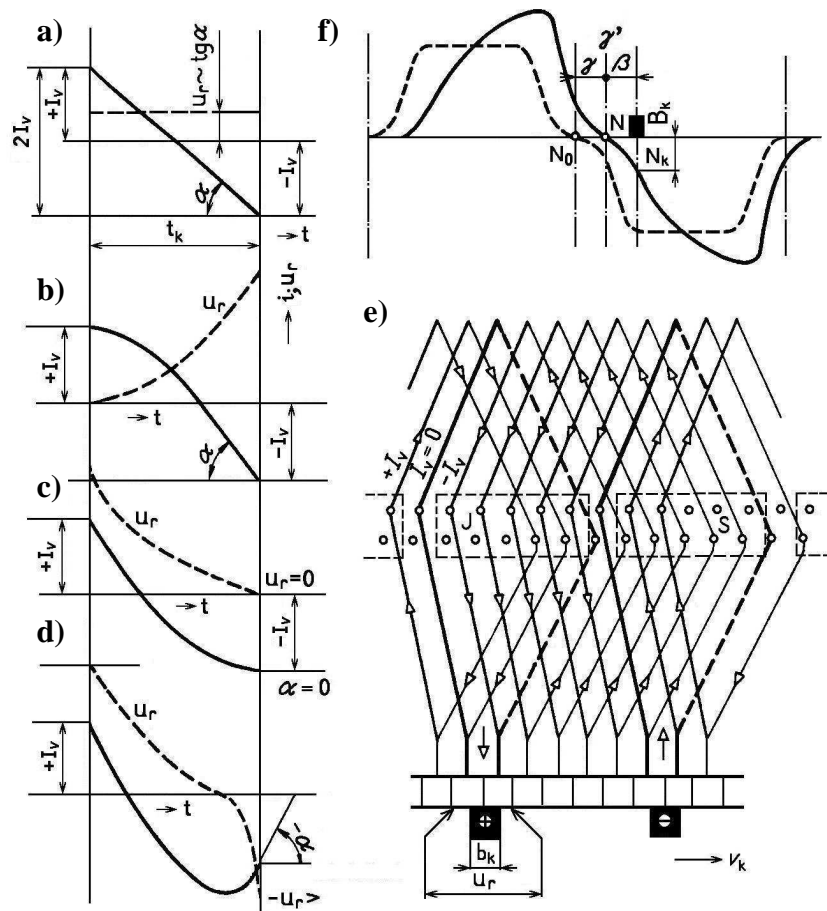
Správný chod stroje se pozná podle bezjiskřivého chodu. Elektrickými příčinami jiskření je samotná komutace, reakce kotvy a velké lamelové napětí – napětí mezi dvěma sousedními lamelami (jeho maximální hodnota by neměla překročit 25 až 50 V – u velkých strojů pracujících s relativně vysokým napětím).

Komutace také ovlivněna konstrukcí motoru, kde je třeba splnit tyto podmínky:

- 1) přesný válcový komutátor,
- 2) hladký – vyleštěný povrch komutátoru,
- 3) přesné osazení kartáčů do neutrálních os,
- 4) kartáče musí být přesně zabroušeny do požadovaného průměru, nepoškozené, pokryté tenkou vrstvou oxidu mědi a částech uhlíku – tato vrstva se neodstraňuje !,
- 5) musí být dodržen stanovený tlak na kartáče,
- 6) vedení kartáčů nesmí být těsné, ani volné – kartáč se musí volně pohybovat v držáku bez změny polohy,
- 7) pravidelně se musí vyškrabávat mikanitová izolace mezi lamelami do hloubky 1 až 2 mm, protože se měď opotřebovává rychleji než mikanit.



Průběh proudů dynamem s pomocnými póly a kompenzačním vinutím

**Komutace stejnosměrného stroje**

- a) odporová, b) indukční komutace, c) správná komutace, d) překomutováno, e) průběh komutace v cívce smyčkového vinutí, f) zlepšení komutace posunutím kartáčů z neutrální polohy

Dynamo s cizím buzením:

- budící vinutí je napájeno z nezávislého zdroje, výstupní napětí ovlivněno poměrně malým úbytkem napětí na odporu kotvy, úbytek na kartáčích a komutátoru je téměř konstantní,
- regulačním odporem v budícím vinutí se reguluje výstupní napětí, svorkové napětí se zvyšuje s růstem budícího proudu,
- charakteristika naprázdno (závislost svorkového napětí na budícím proudu) se přibližuje magnetizační charakteristice měkké oceli,
- pro svorkové napětí platí:

$$U_S = U_0 - R_i \cdot I_a - \Delta U_k - \Delta E \quad [V; V, \Omega, A]$$

- kde: U_S - svorkové napětí,
 U_0 - svorkové napětí naprázdno,
 R_i - vnitřní odpor dynama,
 I_a - zatěžovací proud (proud kotvy),
 ΔU_k - úbytek napětí na kartáčích (0,5 až 2 V),
 ΔE - úbytek napětí v důsledku reakce kotvy –při malých proudech lze zanedbat.

- svorkové napětí vzhledem k malému vnitřnímu odporu klesá pomalu,
- dynamo s cizím buzením je tvrdým zdrojem napětí,
- regulace napětí se provádí změnou odporu v obvodu buzení,
- zdrojem budícího proudu může být kromě baterie i usměrňovač.

Dynamo s paralelním buzením (derivační):

- budící vinutí je připojeno paralelně ke svorkám kotvy,
- budící proud dosahuje 3 až 8 % proudu kotvy,
- dynamo není závislé na jiném zdroji napětí,
- k nabuzení dynama je nutný zbytkový magnetismus, dynamo se musí před zatížením nabudit na svorkové napětí k tomu se použije zbytkové napětí U_r ,
- svorkové napětí se při malém zatížení mění málo a dynamo se charakteristikou podobá dynamu s cizím buzením,
- po dosažení určitého zatížení začne v důsledku poklesu napětí na odporu kotvy značně klesat napětí na svorkách dynama,
- při zkratu nabuzeného dynama protéká zpočátku značný proud, který se ustálí na hodnotě proudu nakrátko, ten je menší než jmenovitý proud \Rightarrow dynamo může trvale pracovat nakrátko,
- stálou hodnotu svorkového napětí lze zabezpečit regulátorem napětí.

Dynamo s sériovým buzením:

- budící vinutí je zapojeno v sérii s vinutím kotvy,
- výstupní napětí je závislé na proudu procházejícím vinutím kotvy,
- dynamo využívá k nabuzení zbytkového magnetismu, avšak naprázdno se nenabudí, po připojení zátěže začne svorkové napětí růst a při jmenovité zátěži dosáhne maximálního napětí, při dalším zvyšování zátěže začne svorkové napětí klesat,
- protože svorkové napětí je velmi závislé na zatížení používá se dynamo se sériovým buzením pouze pro brzdění do odporů u sériových trakčních motorů !,

Dynamo se smíšeným buzením sériovým buzením (kompandní):

- budící vinutí má dvě části, jedna část je zapojena sériově a druhá část paralelně s vinutím kotvy,
- průběh zatěžovací charakteristiky závisí na poměru počtu závitů jednotlivých vinutí a tím i na toku vytvořeném těmito vinutími,
- vhodným návrhem lze dosáhnout stálého svorkového napětí při měnícím se zatížení – sériové vinutí při zatížení zvyšuje budící tok – to je nejčastějším způsobem použití kompandního vinutí dynama,
- nevhodnou volbou může dojít k překompaudování dynama, kdy v oblasti provozního zatížení roste svorkové napětí (křivka b) nebo naopak k nedokompaudivání, kdy s rostoucí zátěží značně klesá výstupní napětí (křivka c) a protikompaudní kdy sériové vinutí působí proti vinutí paralelnímu (křivka d),
- výhodou vhodně navržených kompandních dynam (křivka a) je poměrně stálé svorkové napětí ve velkém rozsahu zatížení – při proměnlivých zatíženích nebo při nepravidelném zatěžování se i bez zásahu do obvodu buzení (změny odporu v obvodu paralelního buzení) výstupní napětí podstatně nemění.

Přehled dynam a jejich charakteristik

dynamo	buzení			
	cizí	paralelní	sériové	smíšené
schéma zapojení				
charakteristika	naprázdno (vnitřní)			
	zatěžovací (vnější)			

Motor s cizím buzením:

- při otáčení kotvy v magnetickém poli statoru se ve vinutí kotvy indukuje napětí U_i působícím proti svorkovému napětí (představuje úbytek napětí zdroje na vinutí kotvy), toto napětí je úměrné otáčkám,
- při zanedbání úbytku napětí na kartáčích $\Delta U_k = (0,5 \text{ až } 2) \text{ V}$ a úbytku v důsledku reakce kotvy vzniká za chodu na vinutí kotvy úbytek napětí:

$$\Delta U = U_S - U_i = R_i \cdot I_a$$

kde: I_a – proud kotvy,
 R_i – odpor kotvy,

- tento úbytek se pohybuje v rozsahu 10 % \Rightarrow v tomto rozsahu budou se zatížením klesat otáčky motoru,
- \Rightarrow otáčky motoru pomalu klesají podle přímky, motor má tzv. **tvrdou otáčkovou charakteristiku**,
- protože budící proud není závislý na proudu kotvy jsou při zatížení otáčky dány pouze napětím kotvy,
- při stálém budícím toku je moment stroje dán proudem kotvy $M \sim I_a$
- velký spouštěcí proud je při spouštění omezen spouštěcím odporem zařazeným do obvodu kotvy nebo užitím řízeného zdroje napětí pro napájení motoru (proud je omezen pouze malým činným odporem vinutí a úbytkem napětí na kartáčích ΔU_k)
- momentová charakteristika se při velkém zatížení ohýbá vlivem reakce kotvy,
- motor umožňuje plynulou regulaci otáček a to:
 - a) změnou budícího proudu ($I_b \uparrow \Rightarrow n \downarrow$),
 - b) změnou odporu v obvodu kotvy (odporu spouštěče $R_s \uparrow \Rightarrow n \downarrow$),
 - c) změnou svorkového napětí ($U_s \uparrow \Rightarrow n \uparrow$) tento způsob se užíval u Leonardovy skupiny (spojení as. motoru- cize buzeného dynamo-stejnsměrného motoru s cizím buzením).
- otáčky motoru při zatížení:

$$M = k_1 \cdot I_a \quad \Rightarrow \quad I_a = \frac{M}{k_1}$$

$$n = \frac{U - R_a \cdot I_a}{c \cdot \Phi} = \frac{U - \frac{R_a}{k_1} \cdot M}{c \cdot \Phi} \quad \Rightarrow \quad n \sim U - k' \cdot M$$

- z uvedené rovnice vyplývá, že při malých otáčkách je moment stroje značný a jeho závislost je dále na otáčkách lineární,
- směr otáčení motoru – **reverzace** – se obvykle mění změnou směru proudu kotvy, při změně buzení hrozí přetočení nezátíženého stroje (dosažení vysokých otáček) v důsledku malé remanentní indukce odbuzeného statoru,
- brzdění je možné:
 - a) **do odporu** – odpoj se napájení kotvy a ta se zatíží odporem, brzdňný moment je při stálém buzení úměrný otáčkám a proudu kotvy I_a
 - b) **protiproudem** – zamění se směr proudu kotvy – motor se reverzuje !, proto se velikost proudu v kotvě musí omezit odporem!
 - c) **rekuperací** – u připojeného motoru dojde k nárůstu otáček nebo je zvýšeno buzení tak, že $U_i > U$ a proud kotvou změní svůj směr (nelze, ale při nízkých otáčkách) – často se užívá v trakci.

Motor s paralelním buzením (derivační):

- motor se chová velmi podobně jako motor s cizím buzením, jeho vlastnosti jsou při větším zatížení ovlivněny úbytky napětí na napájecím vedení – při stálé hodnotě odporu v obvodu buzení klesá napájecí napětí obvodu buzení vlivem úbytku na vedení a napájecím zdroji ($I_a \uparrow \Rightarrow U \downarrow \Rightarrow n \downarrow$) \Rightarrow zatěžovací charakteristika je měkčí než u motoru s cizím buzením,
- brzdění se realizuje stejně jako u motoru s cizím buzením pouze při brzdění klesá brzdící moment rychleji, zvláště při nižších otáčkách,
- **motor má tvrdou zatěžovací charakteristiku**

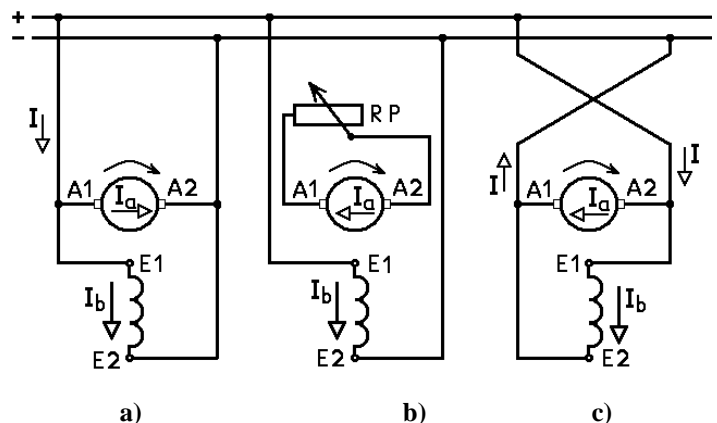


Schéma zapojení derivačního motoru
 (s paralelním buzením)

a) motor, b) brzdění do odporů, c) brzdění protiproudem

Motor se sériovým buzením:

- budící vinutí je zapojeno do série s kotvou a prochází jím proud kotvy $I_b = I_a = I$
- platí: $M = k \cdot \Phi \cdot I$ a $\Phi \sim I$
pak $M \sim k_1 \cdot I^2$
 $I = k'_1 \cdot \sqrt{M}$

$$\text{pro otáčky pak platí: } n = \frac{U - R \cdot k'_1 \sqrt{M}}{c'_1 \sqrt{M}}$$

$$\text{po úpravě: } n = c_1 \frac{U}{\sqrt{M}} - c_2 \cdot R$$

kde: R je odpor kotvy a spouštěče

- první částí rovnice je polytrofa – křivka, v důsledku druhého členu rovnice a přesycení magnetického obvodu dojde k omezení momentu při nízkých otáčkách na konečnou hodnotu,
- motor se nikdy nesmí odlehčit, došlo by k nebezpečnému nárůstu otáček stroj by se zničil,
- \Rightarrow motor se nesmí použít k pohonu s řemenovým převodem, kdy by v důsledku spadnutí, proklouznutí nebo přetržení řemenu došlo k nárůstu otáček nad kritické \Rightarrow proto se používají pouze ozubené převody s nevýsuvnou spojkou,
- závislost momentu na proudu je parabolická, při velkých proudech dochází k přesycení a závislost se stává lineární,
- motor je pro značný záběrný moment vhodný pro elektrickou trakci a jeřáby, kde při provozu nevádí velký rozdíl otáček,
- motor nepotřebuje regulátor jeho otáčky se přizpůsobí zátěži,
- spouštění se provádí reostatem a v trakci pak ještě sériovým buzením motorů,
- řízení otáček se provádí:
 - a) snížením napětí – velmi účinné \Rightarrow otáčky \downarrow ,
 - b) zařazením odporu do obvodu kotvy – velmi ztrátové a momentová charakteristika se stává měkčí – není však na závadu \Rightarrow otáčky \downarrow ,
 - c) změnou budícího proudu:
 - 1) část budícího proudu je vedena přes k budícímu vinutí paralelně zapojený proměnný odpor \Rightarrow otáčky \uparrow ,
 - 2) přepínáním odboček v budícím vinutí se \Rightarrow otáčky \uparrow ,
 - d) připojením bočnicku ke kotvě – značně ztrátové, používá se výjimečně, zvyšuje se buzení \Rightarrow otáčky \downarrow .

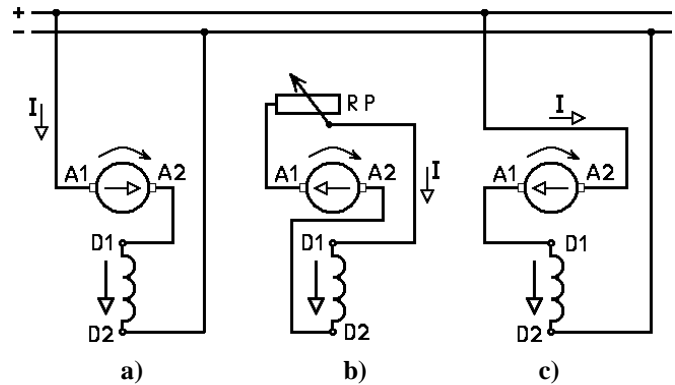


Schéma zapojení motoru se sériovým buzením

a) motor, b) brzdění do odporů, c) brzdění protiproudem

Motor se smíšeným buzením (kompaundním):

- budící vinutí je rozděleno na dvě části, jedna je zapojena jako u motoru derivačního paralelně a druhá jako u motoru sériového, výsledkem je spojení vlastností motorů sériového a derivačního,
- budící vinutí mohou působit ve stejném směru nebo proti sobě,
- působí-li toky budících vinutí ve stejném směru – zvětšuje se záběrný moment, ale otáčky více kolísají,
- působí-li toky budících vinutí proti sobě – udržuje motor stálé otáčky při proměnlivém zatížení,
- při odlehčení nestoupnou otáčky na tak nebezpečnou hodnotu jako u motoru se sériovým buzením – paralelním budícím vinutím protéká stálý proud,
- na rozdíl od sériového motoru je možná snadná rekuperace – tj. zpětná dodávka proudu v okamžiku, kdy je motor poháněn momentem stroje, protože lze paralelním vinutím zabezpečit nabuzení kotvy na požadované napětí,
- v případě, že sériové vinutí působí ve směru paralelního může částečně kompenzovat reakci kotvy tím, že zesílí buzení,
- směr otáčení lze měnit pouze změnou směru proudu kotvy směr budícího proudu musí zůstat stejný,
- motory se nejčastěji používají k pohonu trolejbusů, bagrů a jeřábů.

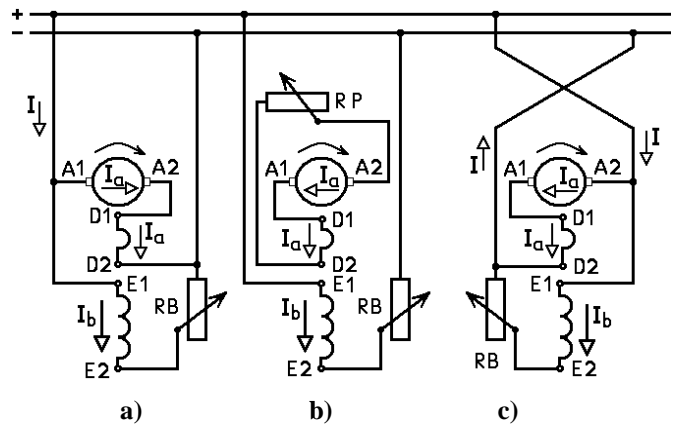


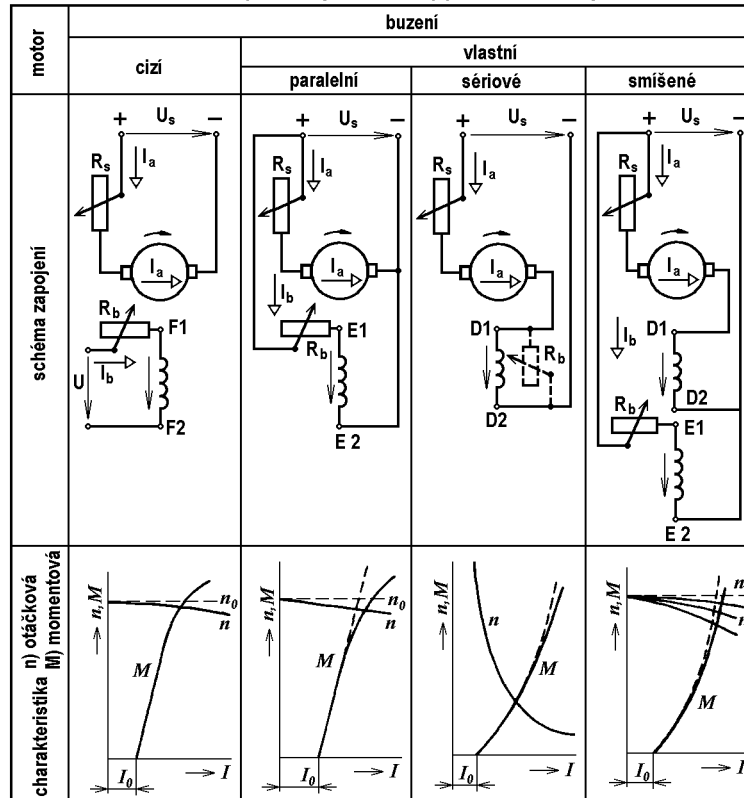
Schéma zapojení motoru se smíšeným buzením

a) motor, b) brzdění do odporů, c) brzdění protiproudem

Spouštěče a budící reostaty

- při spouštění stejnosměrných motorů se omezuje velký záběrný proud rezistory zapojenými do obvodu kotvy – spouštěči, po ukončení rozběhu se rezistory z obvodu vyřadí,
- spouštěče jsou při spouštění zatěžovány velkým proudem, proto se vyrábí kromě provedení se vzduchovým chlazením také s chlazením olejovým,
- spouštěče se vzduchovým chlazením se často vyrábí z uhlíku, např. pro tramvaje,
- jsou-li spouštěče určeny k regulaci otáček musí být dimenzovány na velké ztráty vznikající při regulaci otáček,
- velmi často slouží spouštěče jako zatěžovací rezistory při brzdění do odporů – užívá se hlavně u tramvajů,

Přehled stejnosměrných motorů a jejich charakteristiky

**Speciální motory:****a) Tachodynamo**

- jsou stejnosměrné stroje s permanentními magnety,
- jejich komutátory mají velký počet lamel (40),
- uhlíky jsou nahrazeny kovovými pružinami,
- magnetický obvod musí být souměrný a zvlnění výstupního napětí musí být velmi malé,
- odpor vinutí kotvy je velký ($k\Omega$) \Rightarrow zatěžovací proudy jsou malé, **výstupní napětí je velkém rozsahu otáček přímo úměrné otáčkám motoru,**

b) Stejnsměrné motorky s krátkou odezvou:

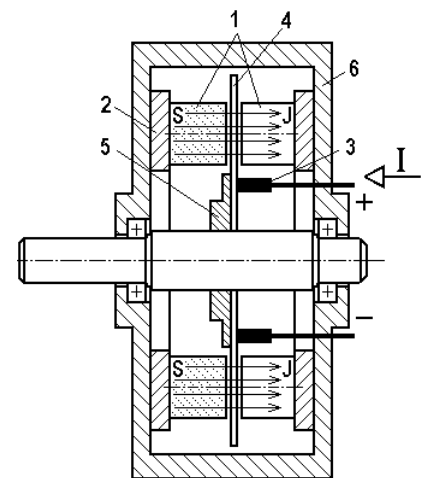
- vzhledem k rychlosti reakce na změny jsou průměry rotorů malé, ale motory jsou delší,
- jha jsou listěná – složená z plechá pro snížení ztrát v magnetickém obvodu při rychlých a častých změnách směru otáčení,
- v kombinaci s tachodynamem a nezávisle poháněným ventilátorem tvoří tzv. kompaktní motory užívané v automatizačních systémech.

c) Motor s kotoučovým rotorem

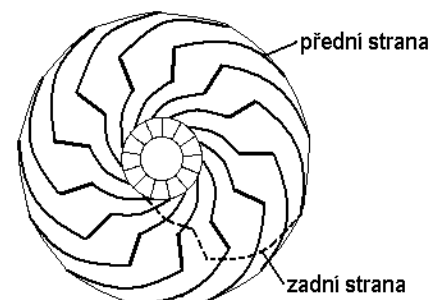
- magnetické pole statoru je vytvářeno válcovými trvalými magnety upevněnými v předním a zadním prstenci skříně motoru z magneticky měkkého železa = **motor s cizím buzením,**
- magnetický tok permanentních magnetů zadního prstence prochází vzduchovou mezerou do předního prstence,
- ve vzduchové mezeře se nachází tenký plastový kotoučový rotor s vinutí, tvořeným vodivými drahami vyřezanými v měděné fólii nalepené na kotouči, oboustranné vinutí je spojeno na hraně kotouče letováním,
- vinutí tvoří spirály procházející na druhé straně pod následujícím pólem, ty se střídají stejně jako u klasického motoru v pořadí S-J-S-J-
- vinutí rotoru je připojeno na čelní komutátor, na který dosedají kartáče,
- malá hmotnost otáčející se části umožňuje rychlé dosažení provozních otáček,
- vinutí umožňuje dobré chlazení \Rightarrow velkou proudovou hustotu pro výkony 20 W až 10 kW,
- chod je rovnoměrný – změna směru otáčení se provádí změnou polarity napájení,

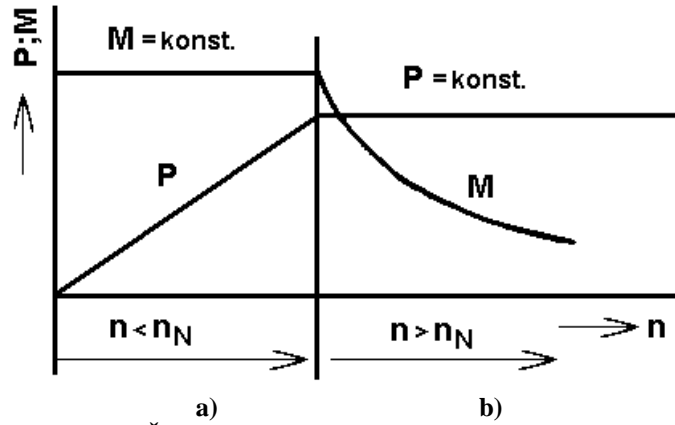
užití:

- **servomotory** – pomocné motory pro řízení nebo nastavování technologických procesů,

**Motor s kotoučovým rotorem**

- 1 – permanentní magnety statoru,
- 2 – prstenek z měkkého železa,
- 3 – kartáče, 4 – kotoučový rotor,
- 5 – nosník kotouče, 6 – pouzdro motoru

**Schéma vinutí kotvy motoru s kotoučovým rotorem**



Řízení otáček stejnosměrných motorů
a) změnou napětí, b) změnou budícího proudu

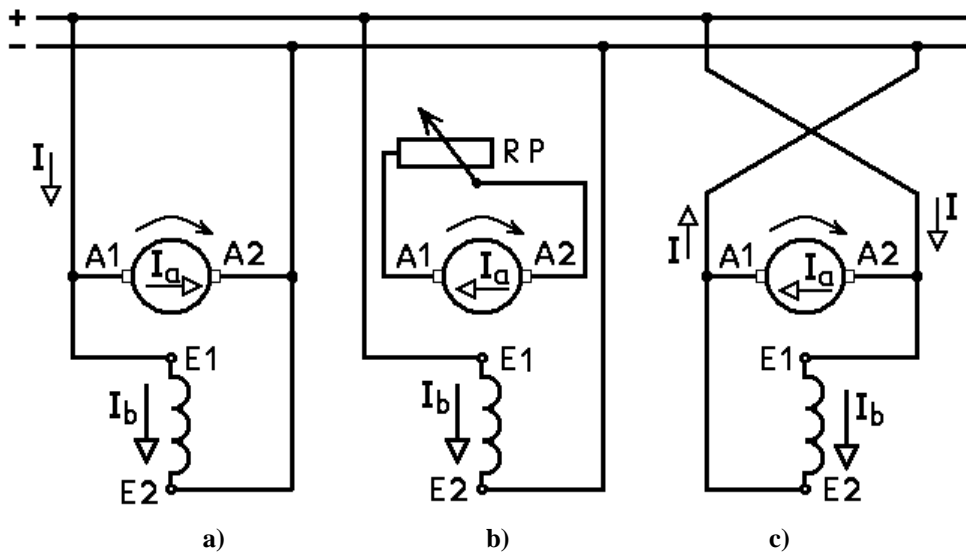


Schéma zapojení derivačního motoru
a) pravotočivý chod, b) brzdění do odporu, c) levotočivý chod

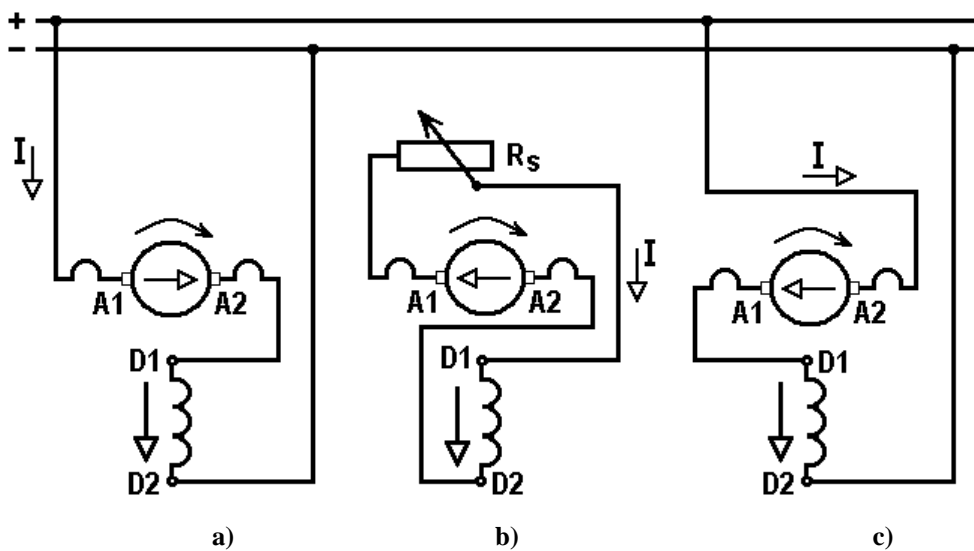


Schéma zapojení sériového motoru
a) pravotočivý chod, b) brzdění do odporu, c) levotočivý chod