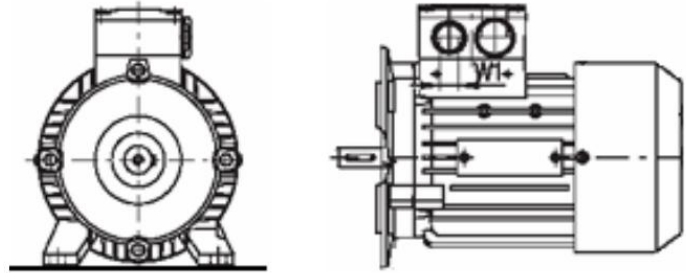


□ Přehled typů elektrických motorů

Elektrické motory mohou být děleny podle různých hledisek, například:

- podle tvaru (viz obr. 1) o patkové, přírubové a vestavné
- podle způsobu chlazení, bez chlazení u motorů nejnižších výkonů, s vlastní ventilací pro otevřené motory a s cizí ventilací
- podle krytí (odolnost proti vlhkosti, prachu, apod.)
- podle napájecího napětí na:

- stejnosměrné motory,
- střídavé motory rozdělené:
 - asynchronní motory,
 - komutátorové motory,
 - synchronní motory
- krokové motory



Obr 1 Patkový a přírubový motor

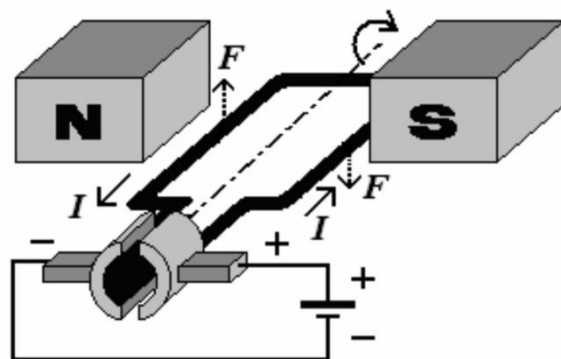
Napájecí napětí určuje konstrukci motoru a především jeho statické a dynamické vlastnosti. Každý elektrický pohon má své specifické použití. Vlastnosti pohonné jednotky je třeba posuzovat v komplexu napájecích obvodů a motoru.

Pracovní oblasti pohonů

Pohon může pracovat v motorickém režimu nebo v generátorovém režimu. V motorickém režimu pohání motor připojené zařízení (stroj) představující jeho zátěž, zatímco v rekuperačním režimu připojený stroj naopak pohání motor, který se jeví jako generátor, který odebírá ze stroje mechanickou energii. Tyto funkce může plnit pro jeden směr otáčení. Funkce poháněného stroje může vyžadovat reverzaci otáček, tj. chod motoru dvěma směry.

Stejnospměrný motor

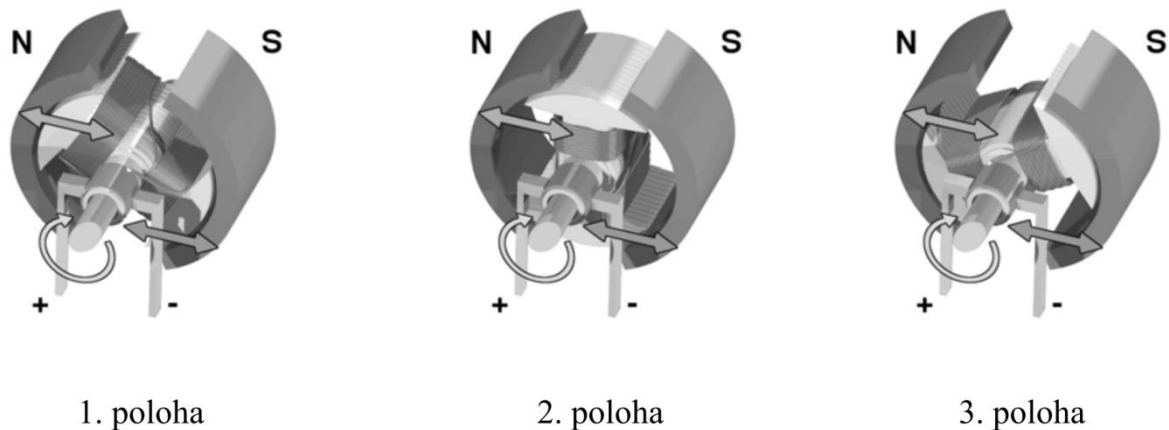
Stejnospměrný motor představuje nejjednodušší realizaci základního fyzikálního zákona o síle F působící na vodič, kterým protéká proud I a který je umístěn v magnetickém poli o indukci B . Jestliže je tento vodič o délce l orientován kolmo k siločárám pole, pak na něj působí síla $F = BIl$. Směr síly lze určit podle Flemingova pravidla levé ruky. Jestliže siločáry vstupují do dlaně a prsty ukazují směr proudu, pak palec určuje směr síly. Vodič ve tvaru smyčky (součást rotující kotvy) s osou rovnoběžnou s osou rotace mění periodicky směr pohybu kolmý na siločáry, a proto je třeba ve vhodném okamžiku dvakrát za otáčku změnit směr proudu, což zajišťuje komutátor, viz obr.2. Konce proudové smyčky jsou připojeny ke dvěma shodným vodivým segmentům, ke kterým se přivádí přes kartáčky elektrický proud. V okamžiku,



Obr.2 Princip komutátoru

kdy je smyčka v rovině kolmé na magnetické siločáry, se vystřídá propojení segmentů a kartáčků, což způsobí změnu proudu v otáčející se smyčce a následnou změnu směru síly, která působí na vodiče smyčky v magnetickém poli. Klasický stejnosměrný motor má kotvu tvořenou

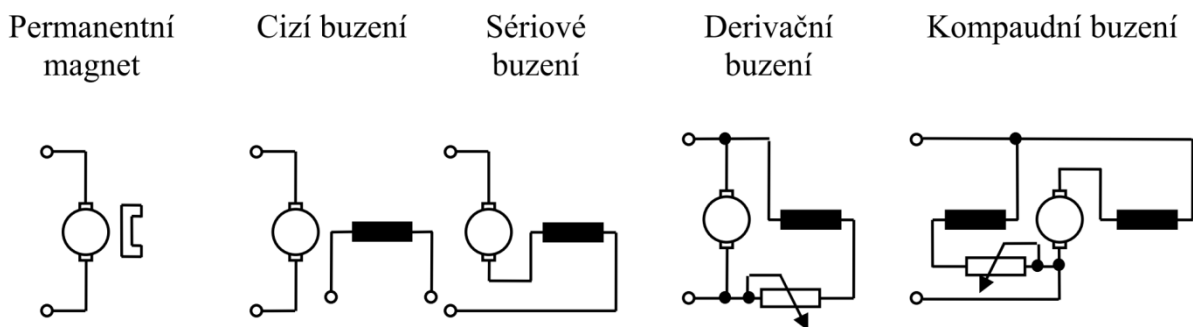
elektromagnetem. Krutící moment je vytvořen na základě vzájemného přitahování opačných magnetických pólů a odpuzování souhlasných pólů (Sever - North, Jih - South). Na obrázku 3 je znázorněn tento pohon ve třech fázích natočení. Třetí fáze je kreslena těsně před okamžikem reverzace proudu komutátorem.



Obr. 3 Stejnsměrný rotor

Magnetické pole může být vybuzeo permanentním magnetem nebo cívkou napájenou stejnsměrným proudem ze zvláštního zdroje (cizí buzení) a nebo cívkou, kterou protéká proud napájející kotvu motoru. Schématicky je zapojení nakresleno na obrázku 4. Kromě sériového buzení může být motor buzen také paralelně (derivační buzení) nebo smíšeně (tzv.kompaundní motor). Podle budícího toku rozdělujeme stejnsměrné motory na:

- motory s budícím tokem nezávislým na zatížení (buzení cizí, paralelní a permanentní magnety)
- motory s budícím tokem závislým na zátěži (sériové buzení)
- motory s buzením smíšeným (kompaundní buzení)



Obr.4 Rozdělení motorů podle buzení

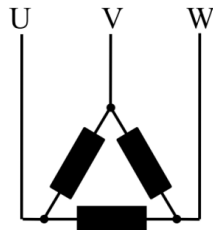
Střídavý asynchronní motor

Střídavý třífázový asynchronní motor je nejrozšířenějším typem pohonné jednotky. V regulaci měla dříve nevýhodu obtížná měnitelnosti otáček. Polovodičové frekvenční měniče tuto nevýhodu nyní odstraňují. Typický asynchronní motor má statorové vinutí pro třífázové napájení složené ze tří statorových cívek, které vytvářejí kruhové točivé magnetické pole. Motorek s jednou fází by se teoreticky nemohl samostatně rozběhnout. K jeho rozběhu slouží pomocné vinutí, které je připojeno přes elektrický kondenzátor krátkodobě k fázi. Kondenzátor způsobí fázový posun, točivé magnetické pole je eliptické. Na trhu jsou také asynchronní motorky s trvale zapojeným pomocným vinutím přes

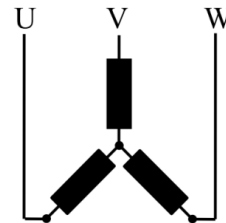
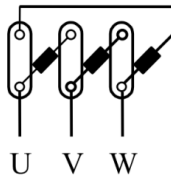
kondenzátor. Statorové cívky jsou zapojeny do hvězdy nebo do trojúhelníku. Pro určité napětí má zapojení do hvězdy 1,7krát (odmocnina ze tří) menší odběr proudu než do trojúhelníka, což se využívá všeobecně při rozběhu motoru s výkonem nad 4 kW. Nejprve se při rozběhu motor zapojí do hvězdy a po dosažení provozních otáček se přepojí do trojúhelníka.

Cívky statorového vinutí jsou zapojeny ke třem dvojicím svorek, které lze plochými propojkami trvale snadno přeskupit na oba zmíněné způsoby zapojení cívek, viz obrázek 5. Běžně se však používá spouštěcí

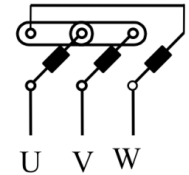
otočný
přepínač s
polohami 0
(stop), Y
(hvězda) a pak
Δ (trojúhelník).



Zapojení do trojúhelníka



Zapojení do hvězdy



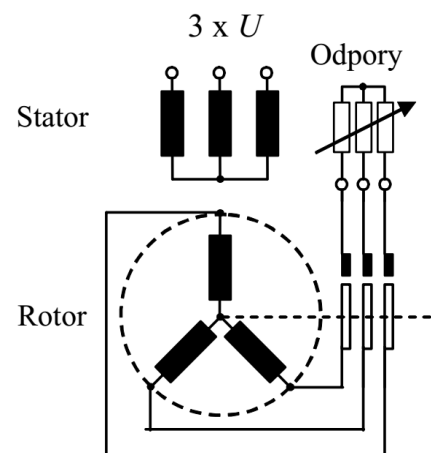
Obr. 5 Zapojení svorek

Rotor může mít dvojí provedení:

- kotva nakrátko
- vinutý, přičemž vinutí je vyvedeno z rotoru pomocí kroužků a kartáčů

Vinutý rotor má obdobně jako stator třífázové vinutí, které je založeno v drážkách. Toto vinutí se vždy spojuje do hvězdy a vzniknuvší uzel se nevyvádí ven, ale je vytvořen přímo na rotoru.

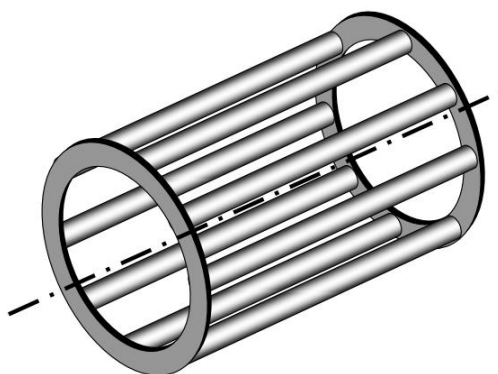
Počet pólů rotorového vinutí musí být shodný s počtem pólů statoru. Vývody z pohyblivého se rotorového vinutí lze realizovat prostřednictvím kluzných kontaktů, které jsou vytvořeny ze tří kroužků a uhlíkových kartáčů, jak je znázorněno na obrázku 6. Vinutí rotoru se pospojuje do uzlu přes vnější odpory, jejichž velikost lze měnit. Velikost těchto odporů lze měnit a takto „změkčit“ charakteristiku motoru za rozběhu. Kluzný kontakt je relativně náročný na údržbu, proto se mnohem častěji užívají stroje s kotvou nakrátko, která tento kluzný kontakt nemá. Tento způsob regulace se používal například u pohonu pouťových kolotočů. Odpory představovala vodou naplněná nádobka, do které obsluha spouštěla tři segmenty napojené na rotorové vinutí pohonu. Rotor s klecí má v drážkách



Obr.6 Kroužkový asynchronní motor

hliníkové (nebo měděné) tyče bez jakékoliv izolace a na koncích jsou tyče spojeny (rovněž hliníkovými) kruhy nakrátko, jak je znázorněno na obrázku 7. Toto provedení je nenáročná na údržbu. Napájecí napětí ve statorových cívkách o frekvenci f_1 o počtu pólů p vytvoří točivé magnetické pole o úhlové rychlosti

$$\omega_0 = 2\pi \frac{f_1}{p}$$



Obr. 7 Klecový rotor

Toto točivé magnetické pole indukuje ve vinutí rotoru nebo v kleci proud, který vyvolá sílu působící kolmo na vodiče rotoru. Dvojice sil na protilehlých stranách pak vyvolá krouticí moment.

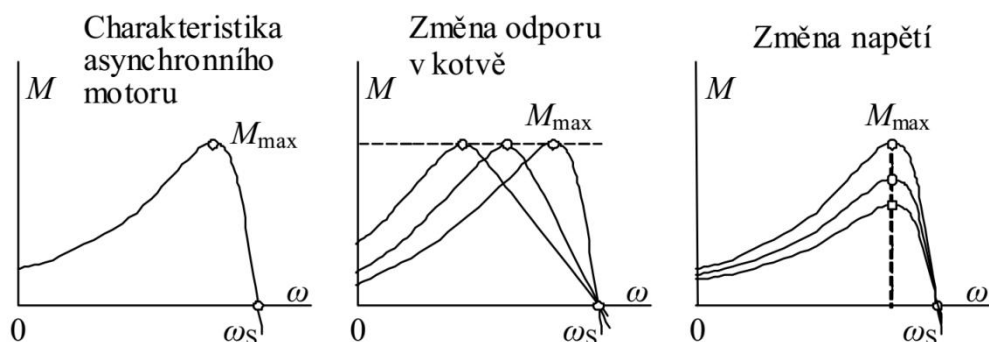
Proud se v kleci indukuje jen za podmínky, že úhlová rychlost kotvy ω se liší od úhlové rychlosti ω_0 točivého elektrického pole. Tento rozdíl otáček se označuje jako skluzové otáčky $\omega_0 - \omega$. Skluz se určí ze vztahu

$$s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}$$

Charakteristika asynchronního motoru je znázorněna v diagramu na obrázku 8. Při synchronních otáčkách ($s = 0$) je krouticí moment motoru nulový. Postupný vzrůst zatížení motoru krouticím momentem vyvolá pokles jeho otáček a tím i zvětšení skluzu. Motor se autoreguluje a zůstává ve stabilním stavu nebo jinak řečeno pracuje ve stabilním pracovním bodu, ve kterém se vyrovná hnací a zátěžný krouticí moment. V okamžiku, kdy je dosaženo maxima krouticího momentu M_{\max} , tak přestane autoregulace působit. Motor nemůže vyrovnat krouticí moment zátěže, a proto jeho otáčky poklesnou a hnací moment také. Pracovní bod již není stabilní, což způsobí překotný pokles otáček obvykle k nule, jestliže zatížení zmizí. V opačném případě se může změnit i směr otáčení. Jestliže se motor zastaví, jeho krouticí moment je menší než moment maximální a odběr proudu se zvětší.

Popsané chování asynchronního motoru se týkalo tzv. motorického režimu. Jestliže na motor působí místo zátěže naopak hnací moment (jízda výtahem dolů vlivem hmoty vyšší než je protizávaží), dojde k překročení synchronních otáček, motor se dostane do generátorového režimu a směr proudu se obrátí. Pokud je motor připojen přímo na rozvodnou síť, je zpětně do rozvodné sítě rekuperován elektrický výkon.

Otáčky asynchronního stroje lze řídit plynule změnou frekvence napájecího napětí užitím frekvenčních měničů, skokově přepínáním počtu pólů a řízením skluzu (odporem v rotoru u kroužkových motorů, napájením rotoru a impulsním napájením).



Obr. 8 Charakteristiky asynchronních motorů

Jednofázový komutátorový motor

Jde o stejnosměrný motor připojený na jednofázovou síť.

Pro trvalý chod musí být obvod statoru vyroben z izolovaných plechů a velkého počtu lamel (segmentů) na komutátoru. Komutace se u tohoto typu motoru zhoršuje, což nutí ke snížení magnetického toku a snížení kmitočtu. Oproti synchronním a asynchronním motorům lze u těchto motorů měnit otáčky v širokých mezích a také překročit hranici 3000 otáček za minutu, což je u dříve zmíněných motorů pro síť 50 Hz nemožné. Nevýhodou je jiskření na kartáčích, což způsobuje jejich opotřebení.

Komutátorové motory velkých výkonů se používají jako trakční motory pro dráhové systémy.

Komutátorové motory pro malé výkony lze použít také pro síť s 50 Hz. Jedná se o domácí spotřebiče (mixery, fény, mlýnky, vysavače) a elektrické nářadí (ruční vrtačky a brusky apod.).

Elektronicky komutovaný motor (EC motor)

Motor s komutátorem má nevýhodu v nutnosti údržby komutátoru, což u EC motorů odpadá. U elektronicky komutovaného motoru (EC) je vyměněna funkce statoru a rotoru. Také se jim někdy říká stejnosměrné bezkartáčové motory. Rotor tvoří permanentní magnet a do vinutí statoru je přiváděno elektronicky komutované napětí s fází závislou na poloze rotoru.

Příkladem může být třífázový elektronicky komutovaný synchronní motor firmy Berger Lahr, jehož vzorky jsou uvedeny na obrázku 9. Při malých rozměrech dosahují tyto motory relativně velkého výkonu a dynamiky, mají také tichý a plynulý chod. Rotor je tvořen permanentním magnetem ze vzácných zemin. Pro snímání polohy rotoru se používají Hallovy sondy, které se připojují spolu s fázemi motoru k servozesilovači. Motory dosahují velkých otáček při malém krouticím momentu. Pro dosažení vyššího krouticího momentu se používají čelní převodovky (do 12 Nm) nebo planetové převodovky (do 50 Nm).



Obr. 9 Provedení motorů

Synchronní střídavé motory

Synchronní motor pracuje pouze na synchronních otáčkách bez skluzu. Aby rotor sledoval otáčky točivého magnetického pole, musí obsahovat permanentní magnet nebo cívku napájenou stejnosměrným proudem. Synchronní motory se rozbíhají jako asynchronní s pomocným vinutím, ve kterém zanikne při synchronních otáčkách proud, a nebo postupným zvětšováním kmitočtu. Velké synchronní motory mají zvláštní využití v energetice podniku, protože je lze použít ke kompenzaci indukční jalové složky proudu. Tato složka proudu vzniká v provozech, kde je velké množství například asynchronních pohonů. Tento motor může například pohánět centrální kompresor pro rozvod stlačeného vzduchu. V automatizaci mají význam malé motory buzené permanentními magnety na rotoru.

Tyto motory jsou nejvíce používány pro polohové řízení výrobních (obráběcích) strojů, protože jsou vybaveny precizním senzorem polohy a otáček s vysokým rozlišením. Svou konstrukcí jsou vhodné pro dynamicky náročné úlohy. Doplněním vhodnou planetovou převodovkou je možno optimalizovat potřebný moment k otáčkám pohonu. Tyto střídavé motory jsou bezkartáčové synchronní motory s permanentními magnety na rotoru a třífázovým vinutím ve statoru. Optimalizovaná koncepce motoru s použitím nových magnetických materiálů (neodym-železo-bór) dovozuje až 5-násobné momentové přetížení a motory vychází konstrukčně kratší oproti jiným typům.

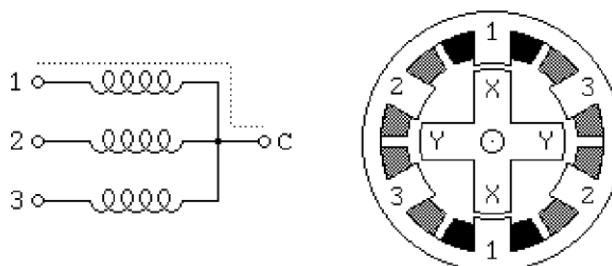
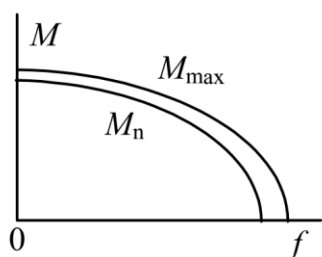
Krokové motory

Podle konstrukčního provedení rotoru se krokové motory rozdělují do tří skupin

- krokové motory s pasivním rotorem mající vyjádřené póly (zuby) na statoru a rotoru, jsou označovány jako reakční nebo reluktanční využívající proměnlivou magnetickou vodivost (Variable Reluktance), podmínkou funkce je rozdílný počet pólů na statoru a rotoru
- krokové motory s aktivním rotorem, který obsahuje magneticky aktivní část, tj. budící vinutí nebo permanentní magnet, počet pólů rotoru a statoru je rozdílný; motory s permanentním magnetem udržují klidovou polohu, i když statorové vinutí je bez proudu
- hybridní motory, slučující konstrukční řešení obou předchozích typů.

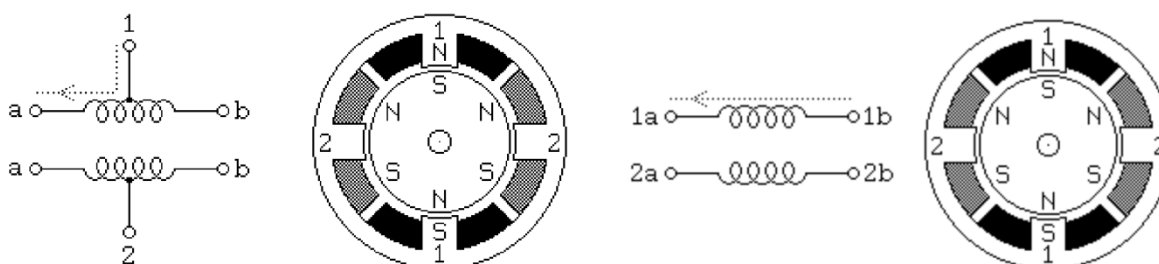
Statická charakteristika krokových motorů na obrázku 10, kterou poskytuje výrobce, obsahuje dvě křivky. První představuje závislost jmenovitého výkonu na frekvenci a druhá určuje maximální výkon, po jehož překročení krokový motor vypadne ze synchronismu.

Konstrukční princip reluktančního motoru je znázorněn na obrázku 11. Stator obsahuje tři cívký na pólových nastavcích 1-1, 2-2 a 3-3. Rotor má dvě dvojice zubů X-X a Y-Y. Na obrázku je nakreslen stav, kdy proud protéká cívkou 1-1 a rotor je svými výstupy (zuby) X-X natočen stabilně tak, aby uzavíral magnetický obvod. Přepnutí proudu do cívky 2- 2 se pootočí rotor o 30° do nového stabilního stavu, ve kterém je uzavřen magnetický obvod mezi pólovými nastavci cívky 2-2 a výstupy rotoru Y-Y, atd. Rotor se třemi permanentními magnety a dvěma cívkami statorového vinutí je znázorněn ve dvou variantách zapojení cívek na obrázku 12. Postupným přepínáním proudů do jednotlivých sekcí vinutí statorových cívek se dosáhne stejného efektu jako v předcházejícím případě.



Obr. 10 Charakteristiky krokového motoru

Obr. 11 Reluktanční krokový motor

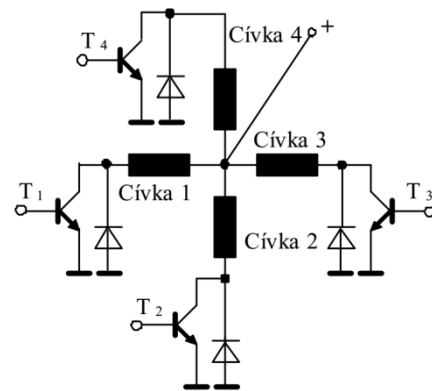


Obr. 12 Varianty zapojení

Rotor se třemi permanentními magnety a dvěma cívkami statorového vinutí je znázorněn ve dvou variantách zapojení cívek na obrázku 12. Postupným přepínáním proudů do jednotlivých sekcí vinutí statorových cívek se dosáhne stejného efektu jako v předcházejícím případě.

Řízení krokových motorů rozeznáváme unipolární a bipolární. Při unipolárním řízení krokového motoru se čtyřmi statorovými cívkami prochází v každém okamžiku proud jen jednou cívkou (viz obrázek 13), což je zajištěno sepnutím jen jednoho z tranzistorů T₁ až T₄. Sepnutí tranzistoru je zabezpečeno proudem do jeho báze po požadovanou dobu. Motor má menší odběr proudu a také

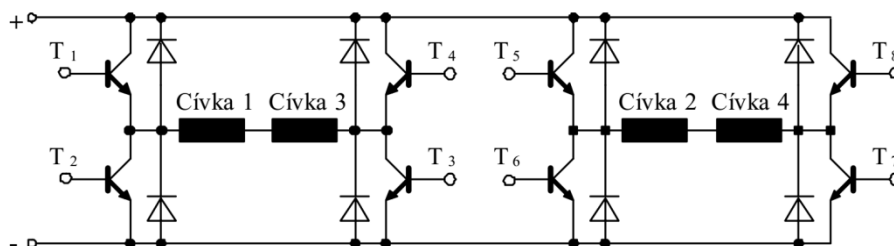
nejmenší kroutící moment oproti bipolárnímu řízení. Při bipolárním řízení prochází proud dvěma protilehlými cívkami (viz obrázek 14). Tyto cívky jsou zapojeny tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu vyvozuje větší kroutící moment za cenu vyšší spotřeby proudu oproti zapojení unipolárnímu. Krokové motory se řídí jednofázově nebo dvoufázově. Při jednofázovém řízení generuje magnetické pole pouze jedna cívka (případně dvojice



Obr. 13 Unipolární zapojení

cívek při bipolárním buzení). Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole dvě sousední cívky. Počet

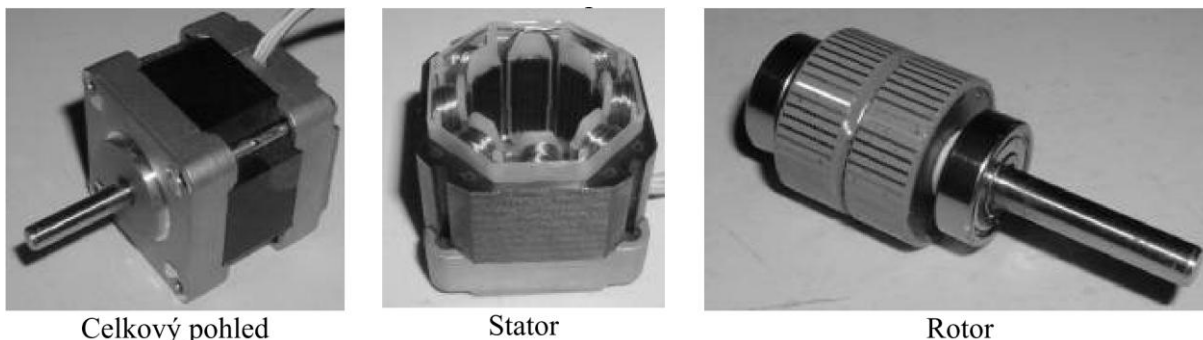
poloh rotoru se zdvojnásobí, protože lze rotor natočit také do mezipoloh daných jednofázovým řízením. Řízení lze



Obr. 14 Bipolární zapojení

provádět s plným nebo polovičním krokem. Řízení s plným krokem odpovídá počtu pootočení za otáčku

rovném počtu zubů statoru daného motoru. Řízením s polovičním krokem dosáhneme dvojnásobné přesnosti. Na obrázku 15 je příklad krokového motoru s 200 kroky na otáčku (tj. 1.8 stupně na krok). Stator krokového motoru tvoří sada 4 dvojic cívek. Pólové nástavce

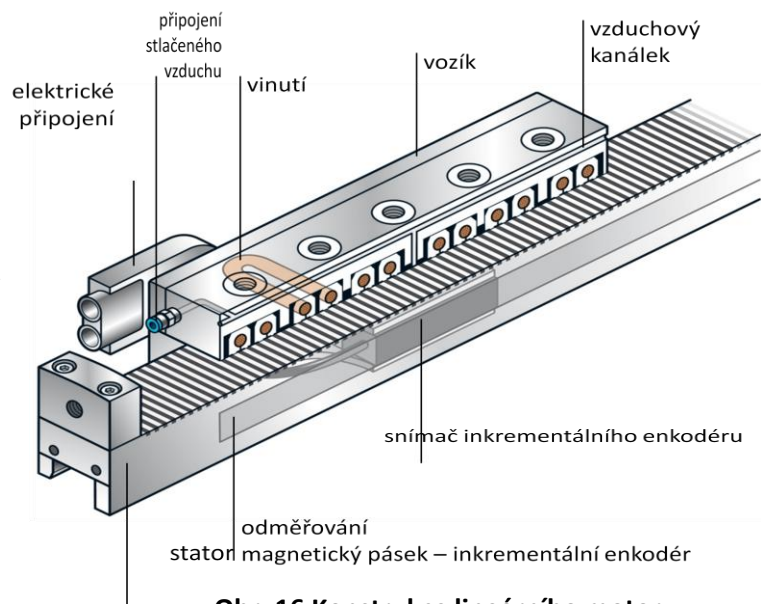


Obr. 15 Příklad krokového motoru

statoru jsou vroubkovány se stejnou roztečí, jako je rozteč magnetů na rotoru. Rotor tvoří hřídel usazená na kuličkových ložiskách a prstencem permanentních magnetů. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Vhodným zapojováním cívek dosáhneme vytvoření rotujícího magnetického pole, které otáčí rotorem.

Krokové motory nejsou jen pro otáčivý pohyb, ale také pro lineární posunutí. Příklad takového lineárního motoru je na obrázku 16. Lineární krokový motor využívá principu permanentně buzeného reluktančního krokového motoru. Stator je tvořen hranolem z nerezové oceli, ve kterém je vytvořena velmi přesná struktura zubů a mezer vyplněných polymerem. Povrch statoru je zabroušen. Stator tak vytváří současně vedení lineární osy a žádné další přídatné vedení není nutné. Běžec se pohybuje nad státorem na silně stlačeném tenkém vzduchovém polštáři (asi 15 μm), který vzniká rozvedením tlakového vzduchu do trysek po vnitřní ploše běžce a působí proti magnetické síle přitahující běžec ke

statoru. Vypnutím přívodu vzduchu je běžec magneticky pevně přitažen ke statoru a motor tedy nepotřebuje žádnou přídatnou brzdu. V běžci jsou kromě rozvodu tlakového vzduchu zabudovány tři fáze vinutí motoru, které jsou vyvedeny na kovový konektor.

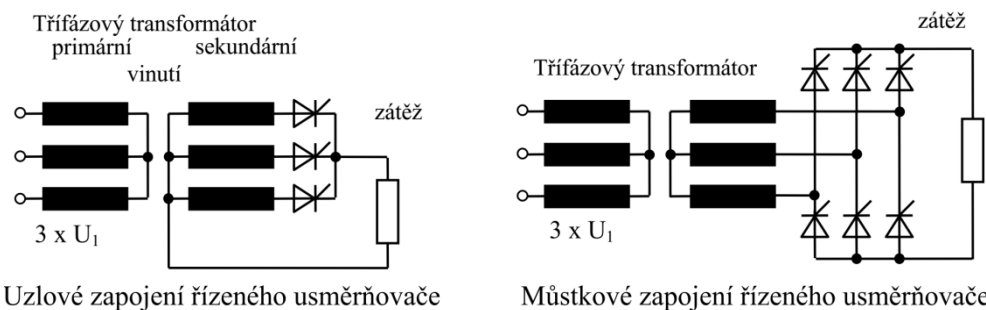


Obr. 16 Konstrukce lineárního motoru

Napájení elektrických motorů řízeným usměrňovačem

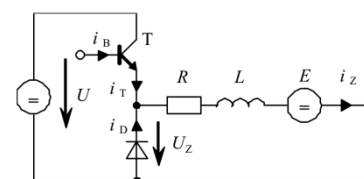
Řízený usměrňovač je zdrojem regulovatelného napájecího napětí pro stejnosměrné elektrické motory. Jejich funkce je založena na tyristorech. Výkonové řízené usměrňovače používají pro napájení třífázové napětí, které je transformováno třífázovým transformátorem.

Řízené usměrňovače jsou buď uzlové, obrázek 17 vlevo, nebo můstkové, obrázek 17 vpravo. Tyristory mohou vést proud za podmínky, že na jejich anodě je vyšší napětí než katodě. Tento stav pro každý tyristor trvá po dobu jedné třetiny periody napětí. Uzlové zapojení vyžaduje vyvedení a hlavně zatížení nulového vodiče transformátoru, což není často dovoleno. Naproti tomu můstkové zapojení se obejde dokonce bez transformátoru. Obvody obou usměrňovačů na zmíněném obrázku neobsahují pro jednoduchost zdroje řídicích impulsů pro tyristory. Tyto signály je třeba k oběma usměrňovačům připojit.



Obr. 17 Řízené usměrňovače

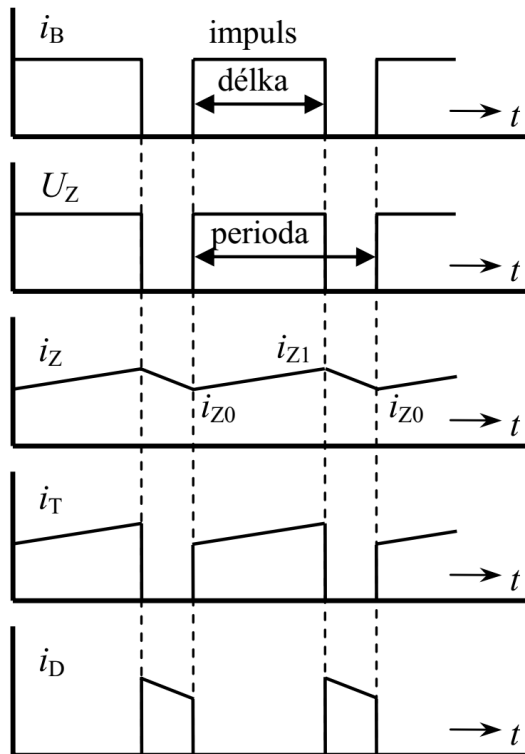
Pohony představují pro zdroje napětí odporovou a indukční zátěž. V obvodech pro jejich řízení jsou používané rychlé polovodičové spínače. Jevy, které v těchto obvodech vznikají, lze demonstrovat na jednoduchém obvodu, který je znázorněn na obrázku 18. V tomto obvodu je spínán tranzistorem proud ze stejnosměrného napěťového zdroje o napětí U pro stejnosměrný motor, jehož kotva vykazuje odpor o velikosti R a indukčnosti L . Na kotvě motoru se indukuje elektromotorická síla o velikosti $E = k\Phi \omega$. Lze předpokládat, že setrvačnost motoru včetně poháněné soustavy je tak velká, že v intervalu spínání tranzistoru T se otáčky motoru téměř nemění a elektromotorická síla E je proto téměř konstantní. Necht' proud báze i_B se impulsně mění podle časového průběhu na obrázku 19. Po dobu průchodu proudu bází tranzistoru se vybudí stav nasycení tranzistoru (ekvivalentní sepnutí fiktivního



Obr. 18 Spínání tranzistoru pro stejnosměrný motor

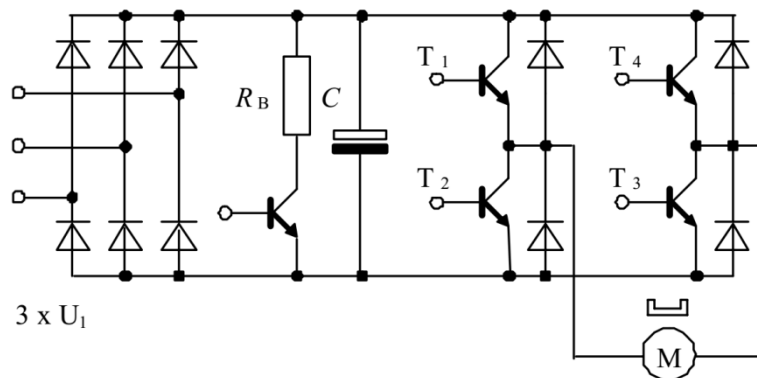
spínače mezi kolektorem a emitorem) a na jeho emitoru se objeví napětí blízké napětí zdroje, tj. U . Indukčnost vinutí kotvy motoru účinkuje tak, že se proud tranzistorem a vinutím začne exponenciálně zvětšovat s časovou konstantou $\tau = L/R$ z počátečního proudu, který bude označen i_{z0} . Protože proudové impulsy do báze se předpokládají mnohem kratší než je zmíněna elektrická časová konstanta motoru, jeví se náběh proudu vinutím motoru lineární s časem.

Při přerušení proudu kolektorem a emitorem tranzistoru začne proud klesat z dosažené hodnoty i_{z1} až k hodnotě i_{z0} , kdy se vše opakuje znovu. Úbytek napětí na cívce je dán výrazem $L di_z/dt$. Změna znaménka derivace proudu způsobí, že na anodě diody se objeví kladné napětí proti její katodě a



Obr. 19 Časový průběh spínání proudu a napětí

Tranzistory jsou v obvodu na obrázku 20 kresleny bez připojené báze. Předpokládá se, že na tyto vstupy bude přiveden impulsní řídicí signál podobně jako pro obvod na obrázku 18.



Obr. 20 Tranzistorový pulsní měnič

Měniče frekvence

Elektrické pohony střídavé (synchronní a asynchronní) mají otáčky vázané na frekvenci napájecího proudu. Otáčky synchronních pohonů jsou přímo úměrné frekvenci. U asynchronních motorů ovlivňuje tuto závislost z menší části také proměnný skluz. Pro tyto střídavé motory je tedy zapotřebí proud o říditelné frekvenci. V rozvodné síti je k dispozici proud o stálé frekvenci 50 Hz (60 Hz v USA). Proto je třeba změnit frekvenci proudu uměle speciálním zařízením, které se nazývá frekvenční měnič. Frekvenční měniče se rozdělují na měniče přímé a nepřímé. U přímých měničů se napětí jedné

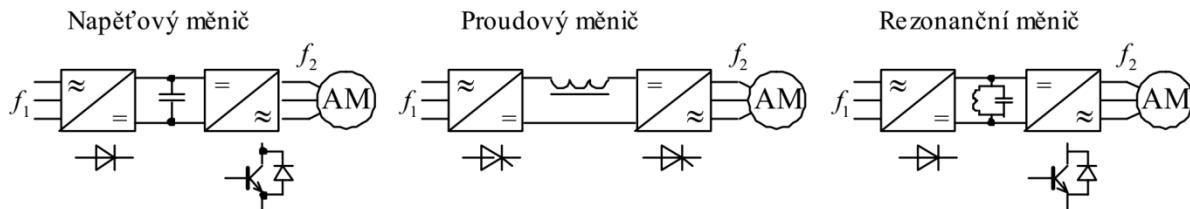
dioda se stane pro proud vodivá. Proud indukčnosti motoru střídavě prochází tranzistorem a diodou, jak je naznačeno v časových průbězích na obrázku 19.

Kdyby v obvodu dioda chyběla, pak se na indukčnosti bude v okamžiku přerušení proudu indukovat vysoké napětí, které má udržet proud v neuzavřeném bvodu. Tato napěťová špička by prorazila přechody v tranzistoru, což by znamenalo jeho zničení. Dioda tedy plní také ochrannou funkci před napěťovým přetížením tranzistoru.

Kompletní zapojení pro toto řízení stejnosměrného motoru je na obrázku 20. Obvod umožňuje reverzování otáček motoru. Vzhledem k tomu, že diodový můstkový usměrňovač neumožňuje rekuperaci proudu do sítě, je při brzdění, např. během doběhu, sepnut tranzistor s odporem R_B , který zatěžuje motor ve funkci dynamo tím, že zvýší jeho proudový odběr. Elektrolytický kondenzátor vyhlazuje napětí po usměrnění diodovým můstkem.

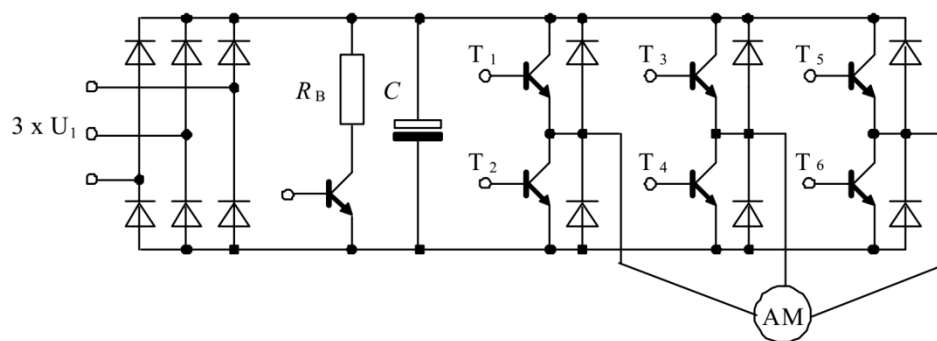
frekvence (50 Hz) mění přímo na napětí proměnlivé frekvence. Nepřímé měniče nejprve usměrňují elektrický proud na stejnosměrný, který pak střídáním mění na střídavý o libovolné (z určitého rozsahu) frekvenci.

Nepřímé měniče nejprve střídavé napětí o frekvenci f_1 usměrní na stejnosměrný proud, který je spínacími prvky přerušován tak, že vznikne napětí o frekvenci f_2 . Blokové schéma zapojení tří typů



Obr. 21 Základní typy měničů

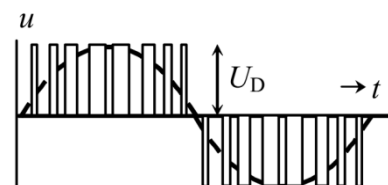
měníčů je znázorněno na obrázku 21. Napěťový měnič má ve své stejnosměrné části vyhlazovací kondenzátor, který se chová jako napěťový zdroj s velmi malou vnitřní impedancí. Proudový



Obr. 22 Napěťový měnič frekvence

měníč využívá k vyhlazení vlnění proudu indukčnost (tlumivka). Měníče malých výkonů mají usměrňovací obvod s diodami, zatímco pro větší výkony se využívá tyristorů. Usměrňovač a střídač je vybaven tyristory, což umožňuje rekuperaci energie do sítě. To znamená, že energie pro zbrzdění pohonů se nemaří na teplo, ale je dodávána zpět do elektrorozvodné sítě. Frekvenční měnič využívá měkkého spínání tranzistorů, tj. spínání a rozpínání obvodu dochází v okamžiku, kdy je na kolektoru tranzistoru nulové napětí. Rezonanční obvod kmitá na vysoké frekvenci, např. 100 kHz.

Harmonického průběhu proudu se dosahuje vynecháváním některých pulsů. Třífázový napěťový měnič frekvence s diodovým napájecím je znázorněn na obrázku 22. Obsahuje diodový můstkový usměrňovač, kondenzátor ve stejnosměrné části obvodu a tranzistorový třífázový střídač. Diodový usměrňovač podobně jako v obrázku 18 neumožňuje rekuperaci, proto se tranzistorem spíná do obvodu brzdný odpor. Spínacími tranzistory se napájí současně sinovým napětím všechna tři vinutí asynchronního motoru. K vytváření sinusového průběhu napětí se používá pulsně šířkové modulace impulsním signálem. V průběhu jedné periody se připojuje a odpojuje stejnosměrné napájecí napětí s



Obr. 23 Princip pulsní šířkové modulace

šířkou impulsu úměrnou okamžité hodnotě sinusového napětí. Princip této modulace je znázorněn na obrázku 23. Impulzy o různé šířce jsou filtrační schopností indukčnosti elektromotoru vyhlazeny tak, že odpovídají sinusovce.