

12 Elektrické stroje

12.1 Základy

12.1.1 Vytvoření točivého magnetického pole

Otáčením tyčového trvalého magnetu nebo tyčového elektromagnetu kolem vlastního středu vznikne točivé magnetické pole. V generátoru vytváří točivé magnetické pole otáčející se vnitřní rotor (kotva) nebo vnější rotor. V elektromotoru vytváří točivé pole trojfázový proud s fázemi připojenými na soustavy statorových vinutí, pootočených o 120° proti sobě.

Trojfázovým proudem lze vytvořit točivé magnetické pole bez mechanického pohybu.

Statorová vinutí jsou rozložena na obvodu statoru složeného ze statorových (obdoba transformátorových) plechů (obr. 1). Pole se vytváří při průchodu trojfázového proudu vinutími. Protože jsou proudy procházející geometricky posunutými vinutími posunuty časově (fázově o 120°), vzniká točivé magnetické pole (obr. 2).

Točivé magnetické pole vzniká, otáčí-li se magnet, nebo když trojfázový proud protéká kruhově uspořádaným trojfázovým vinutím.

Stroje, které pracují s točivým magnetickým polem, se nazývají elektrické točivé stroje, nebo též **stroje s točivým polem**. Elektromotory využívají točivého pole vytvářeného státorem. Otáčí-li se rotor stejnou rychlostí jako točivé pole statoru, mluvíme o synchronních¹ strojích (motorech). Jsou-li rychlosti otáčení pole a rotoru různé, mluvíme o asynchronních² strojích (motorech).

Je-li točivé pole vytvářeno třemi statorovými vinutími odsazenými na obvodu po 120°, je kmitočet otáček pole stejný jako kmitočet sítě. Točivé pole má severní a jižní pól, tedy 1 pólový pár. Je-li na statoru 6 vinutí odsazených od sebe po 60°, zdvojnásobí se počet pólových párů a otáčky (kmitočet) budou poloviční, protože cesta od jednoho pólu (vinutí) k druhému bude poloviční.

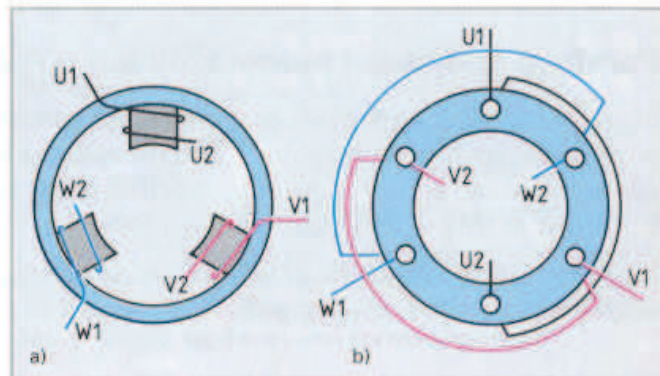
Otáčky točivého pole jsou určeny síťovým kmitočtem a počtem pólů trojfázového vinutí.

Ve výpočtech bereme v úvahu vždy počet pólových párů (severní a jižní pól tvoří pár).

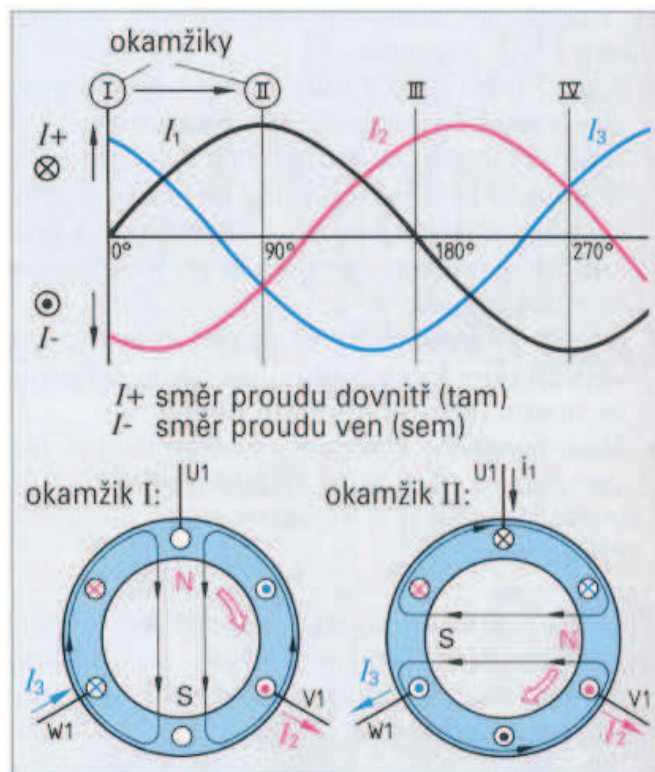
Otáčky jsou také označovány jako frekvence otáčení.

¹ synchron (řecky) = současný

² asynchronní = nesynchronní



Obr. 1 Konstrukce rotoru trojfázového motoru
a) se třemi vinutími odsazenými o 120°,
b) se svazkem plechů s otvory pro 3 vinutí



Obr. 2 Vznik dvupólového magnetického pole ve dvou okamžicích I. a II.

$$[n_s] = \frac{1}{s}$$

$$n_s = \frac{f}{p}$$

n_s kmitočet (frekvence) otáčení

f kmitočet (proudu)

p počet pólových párů statoru

12.1.2 Výkon a točivý moment

Motory přeměňují odebranou elektrickou energii na mechanickou, generátory opačně přeměňují mechanickou energii na elektrickou.

V elektrických strojích točivých dochází ke ztrátám stejně jako v transformátorech, a to ke **ztrátám v železe** (přemagnetizační hysterezní ztráty a ztráty vířivými proudy) a ke **ztrátám ve vinutí** (v mědi), daným činným odporem drátu. Dále dochází ke ztrátám třením (v ložiscích a na kartáčích) a ke ztrátám při ventilaci. Měřitkem celkových ztrát je účinnost motoru (obr. 1).

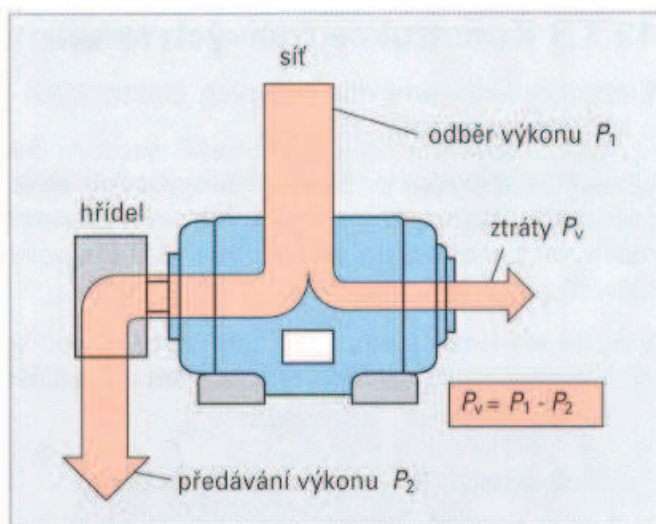
Účinnost je dána poměrem odváděného výkonu a odebíraného výkonu.

Výkon odevzdávaný elektromotorem P_2 lze vypočítat z točivého momentu a otáček. Vstupní výkon P_1 lze měřit jako elektrický výkon odebíraný motorem ze sítě. Točivý moment je u elektromotoru výsledný účinek působení magnetického pole statoru a proudu procházejícího otáčejícím se rotorem. Proud procházející vinutím nebo klecí rotoru vyvolává v magnetickém poli statoru sílu F , která vytváří točivý moment. Měřením síly na obvodu hřídele či řemenice motoru může být zjištěn točivý moment (obr. 2), který může být měřen dynamometrem nebo nějakou brzdou, na které je měřena brzdňá energie nebo brzdňý výkon.

Dynamometr (obr. 3), nazývaný též brzdový generátor nebo výkonová váha, se skládá ze stejnosměrného generátoru, jehož stator je uložen otočně kolem osy shodné s osou rotoru. Při buzení tohoto statoru vzniká moment brzdící rotor hnáný testovaným motorem a tento moment je možno mechanicky měřit tzv. výkonovou váhou. Energie vznikající při tomto měření brzdění se mění na teplo v zatěžovacích odporech. Vyvažováním nastavíme rovnováhu mezi hnacím momentem a zatěžovacím (brzdňým) momentem při jmenovitých otáčkách.

Otáčky měříme nějakým otáčkoměrem (např. tachodynamem).

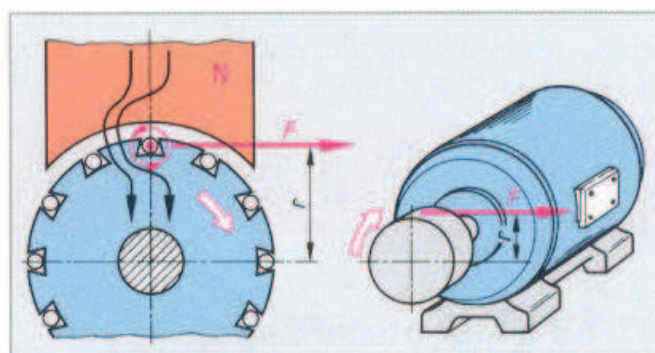
Při jmenovitém výkonu má motor jmenovitý moment při jmenovitých otáčkách.



Obr. 1 Tok výkonu elektromotorem

η účinnost
 P_1 příjem výkonu
 P_2 výdej výkonu

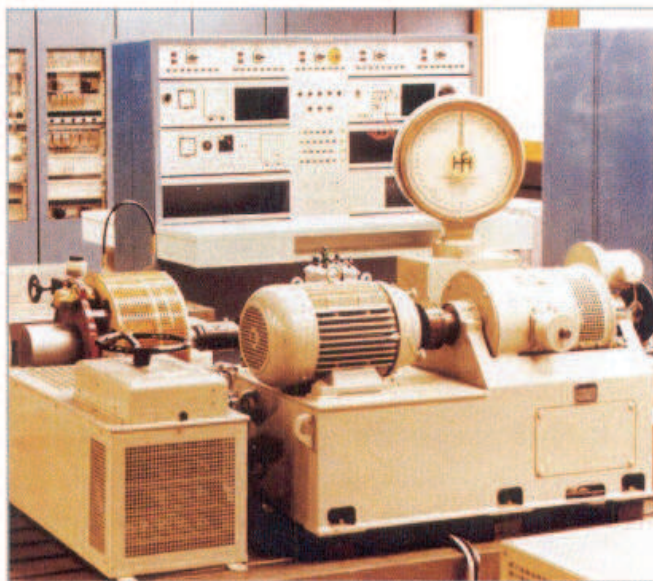
$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$



Obr. 2 Vznik točivého momentu na rotoru a na řemenici motoru

M točivý moment
 F síla
 r poloměr (rameno síly)

$$M = F \cdot r$$



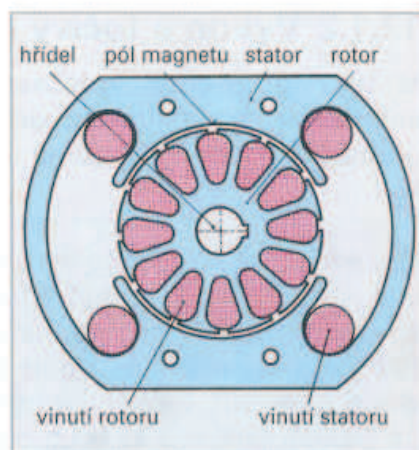
Obr. 3 Zkušebna motorů s dynamometrem

12.1.3 Konstrukce točivých strojů

Elektricky aktivními díly točivých elektrických strojů jsou stator a rotor (kotva), (obr. 1).

U strojů s točivým polem je stator složen z plechů a na obvodu má vinutí. Stator stejnosměrných točivých strojů bývá většinou sestaven z masivního prstencového (železného) jádra a magnetických pólových nástavců.

Vinutí navinutá na svazek plechů rotoru jsou vyvedena na sběrné kroužky nebo na lamely komutátoru (kolektoru).



Obr. 1 Princip konstrukce motoru

12.1.4 Identifikační štítek stroje

Nejdůležitější identifikační údaje a parametry stroje jsou uvedeny na štítku (obr. 2). K těmto údajům patří označení výrobce, typu a druhu stroje, jakož i jmenovité hodnoty napětí, proudu i výkonu pro určený druh provozu. Pokud není druh provozu udán, platí udané parametry pro trvalý provoz. Jmenovité hodnoty se také nazývají provozní hodnoty. Motor odevzdává na hřídeli svůj jmenovitý nebo provozní výkon. Dalšími údaji na štítku motoru jsou jmenovité otáčky, izolační třída a druh ochrany (str. 245) a váha motoru.

Příkon (odebíraný elektrický výkon) motoru lze vypočítat z údajů napětí a proudu na štítku motoru.

výrobce			
typ AD 60			
D - Motor	Nr. 2080		
Δ 400	V	166	A
90 kW	S3	cos φ 0,89	
1460	/min	50	Hz
Izol. - Kl.B	IP 44	0,6	t
VDE 0530 / 11.95			

Obr. 2 Štítek trojfázového motoru (příklad)

12.1.5 Směr otáčení stroje

Směr otáčení stroje se udává při pohledu ze strany vyvedeného hřídele (obr. 3).

Směr otáčení ve směru hodinových ručiček ze strany hřídele je považován za směr doprava, opačný směr za směr doleva.

Při oboustranném vyvedení hřídele je rozhodující pohled ze strany hlavního hřídele, tj. hřídele většího průměru. Při stejných průměrech je za hlavní hřídel považován konec hřídele na straně protilehlé ventilátoru, kolektoru nebo sběrným kroužkům.

Trojfázový motor se točí doprava, jsou-li fáze L1, L2, L3 připojeny postupně na svorky U1, V1, W1.

Změny směru otáček motoru lze dosáhnout přehozením dvou fázových přívodů.

Pro trojfázový motor platí

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

P_1 příkon
 U jmenovité napětí
 I jmenovitý proud
 $\cos \varphi$ účinník



Obr. 3 Určení směru otáčení motoru

Otázky k opakování

1. Jakými způsoby lze vytvářet točivé magnetické pole?
2. K jakým ztrátám dochází v elektromotorech?
3. Jaké údaje se uvádějí na štítku elektromotoru?
4. Jak se zjišťuje směr otáčení elektromotoru?

12.2 Trojfázové motory bez komutátoru

12.2.1 Trojfázové asynchronní motory

Asynchronní motory jsou nejdůležitější trojfázové motory. Magnetické pole statoru indukuje v rotoru napětí a vzniklý proud pak vyvolá sílu otáčející rotorem. Tyto motory jsou také označovány jako **indukční motory**. Podle konstrukce rotoru se pak rozlišují různé typy asynchronních motorů.

12.2.2 Motory s kotvou nakrátko

Konstrukce. Stator se skládá z nosného tělesa (krytu) motoru, svazku statorových plechů a statorového vinutí (**obr. 1**). Konce statorového vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici.

Rotor (kotva) je sestaven z rotorových plechů nasazených ve svazku na hřídeli a z vodičů v drážkách rotoru. Vodiče jsou tvořeny hliníkovými nebo měděnými tyčkami a jsou na čelních stranách svazku rotorových plechů spojeny nakrátko zkratovacími kroužky. Vodiivé tyčky spolu se zkratovacími kroužky mají podobu klece (klecový rotor).

Rotor i stator jsou složeny z jednostranně izolovaných elektroplechů. Touto konstrukcí je prakticky zabráněno ztrátám vířivými proudy (jako u transformátorů).

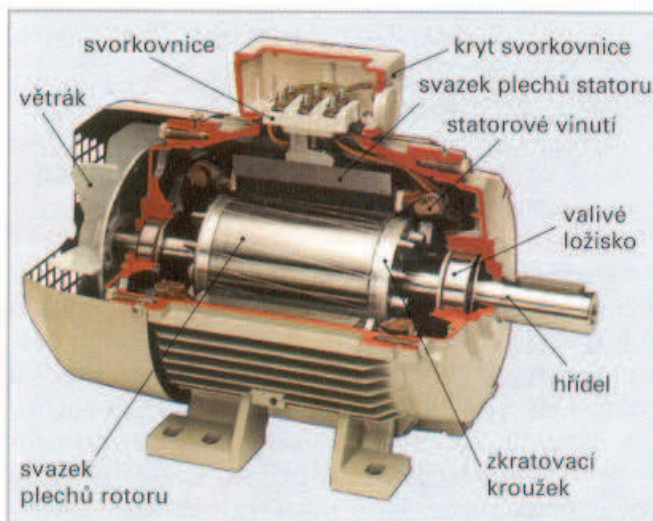
Princip činnosti. Klecový rotor lze považovat za nejjednodušší trojfázové vinutí. V momentu zapnutí se chová klecový rotor jako zkratované sekundární vinutí transformátoru. Točivé pole statoru způsobuje změny magnetického toku ve vodivých smyčkách tvořených vodiči rotoru. Rychlost změn magnetického toku procházejícího vodivými smyčkami stojícího rotoru odpovídá kmitočtu točivého elektromagnetického pole. Indukované napětí vyvolá průtok elektrického proudu klecovým rotorem (**obr. 2**).

Asynchronní motory jsou indukční motory. Proud v rotoru je vyvolán indukcí.

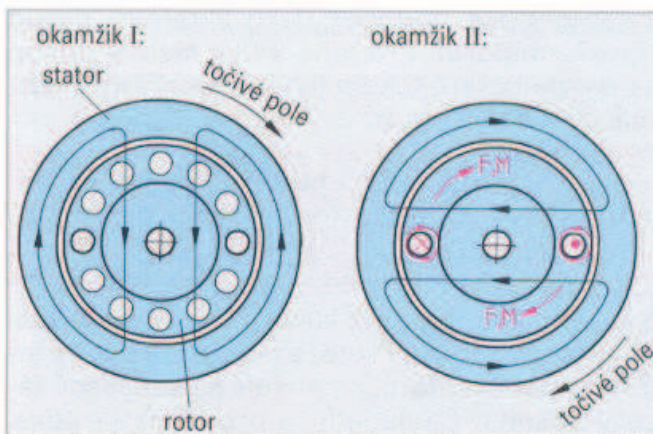
Podle Lenzova pravidla způsobí magnetické pole indukované proudem v rotoru točivý moment, který otočí rotorem ve směru otáčení točivého pole statoru. Pokud by dosáhl otáčky rotoru otáček točivého pole statoru, klesl by točivý moment na nulu (**obr. 3**). Točivý moment je úměrný rozdílu otáček rotoru a pole statoru, který nazýváme **skluzové otáčky** asynchronního motoru.

Asynchronní motor potřebuje skluz otáček k indukci proudu v rotoru.

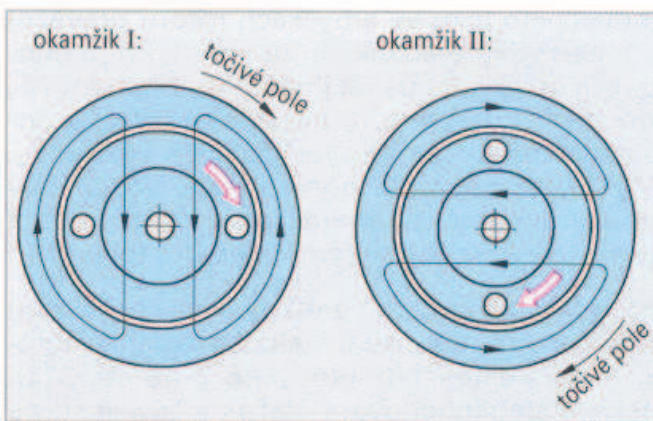
Skluz otáček asynchronních motorů bývá běžně 3% až 8% jmenovitých otáček.



Obr. 1 Trojfázový motor s kotvou nakrátko



Obr. 2 Indukční působení točivého pole na nehybný rotor



Obr. 3 Neměnný magnetický tok procházející rotorem při synchronních otáčkách

Příklad: Čtyřpólový trojfázový motor má při napájení 50 Hz otáčky 1440/min. Jaký je skluz?

$$n_s = \frac{f}{p} = \frac{50 \text{ Hz}}{2} = 25 \frac{1}{s} = 1500 \text{ otáček/min}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\% = \frac{1500 \text{ ot./min} - 1440 \text{ ot./min}}{1500 \text{ ot./min}} \cdot 100\% = 4\%$$

Pokus: Zatěžujte mechanicky trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko (brzdíte rotor např. indukční brzdou) a sledujte změny otáček.

Otáčky klesají s rostoucí zátěží.

Skluz otáček asynchronního motoru je závislý na zátěži motoru.

Provozní vlastnosti. Klecový rotor (kotva nakrátko) je tvořena vodiči kruhového průřezu nebo vodiči jiných průřezů odpovídajících tvaru hlubokých drážek svazku rotorových plechů (**obr. 1 na str. 292**). Chování klecového rotoru lze vysvětlit na rotoru s vodiči kruhového průřezu. V okamžiku zapnutí motoru se nehybný rotor chová převážně jako indukčnost. Činný odpor vodivé klece je velmi malý. Rozběhový proud proto může dosáhnout až desetinásobku jmenovité hodnoty (jako zkratový proud transformátoru). Pro jeho velký fázový posun za magnetickým tokem je však točivý moment malý.

Rotory s kruhovými vodiči mají přes velké rozběhové proudy jen malý rozběhový moment.

S rostoucími otáčkami klesá indukované napětí i proud v rotoru. Protože také klesá jalový indukční odpor rotoru, zmenšuje se současně fázový posun mezi napětím a proudem v rotoru. **Průběh momentu** v závislosti na otáčkách (**obr. 1**) ukazuje nárůst až do hodnoty M_K **momentu zvratu**, kdy začne pokles rychlosti změnou indukčního toku ve smyčkách rotoru převažovat nad vlivy zvětšujícími moment. Při jmenovitých otáčkách působí **jmenovitý moment** M_N (jmenovité zatížení). V nezatíženém stavu dosahuje motor téměř synchronních otáček n_s . V okolí jmenovitého momentu M_N jsou změny skazu úměrné změnám zatížení ΔM , neboť charakteristika je zde téměř lineární (**obr. 2**).

Při nárůstu (kolísání) zatížení klesají (kolísají) otáčky málo, tak jako u stejnosměrného motoru s paralelním buzením (**obr. 2 na str. 322**). Takové stabilní chování otáček v závislosti na zatížení motoru se označuje jako **chování derivačního motoru**.

$$\Delta n = n_s - n$$

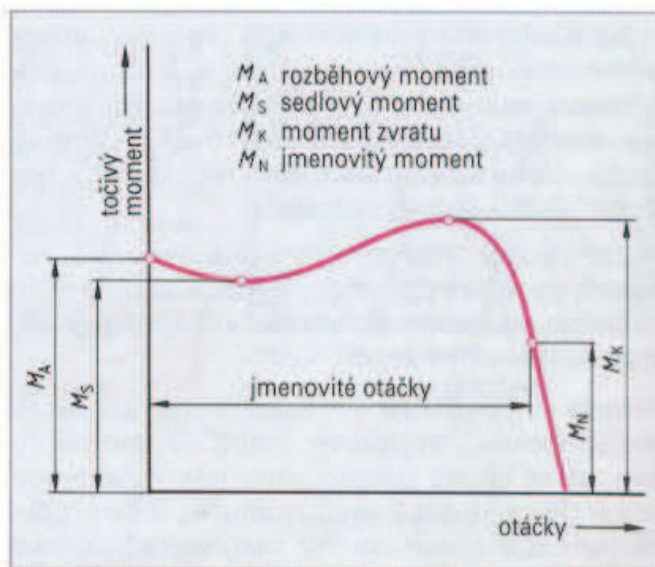
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\%$$

Δn skluz otáček

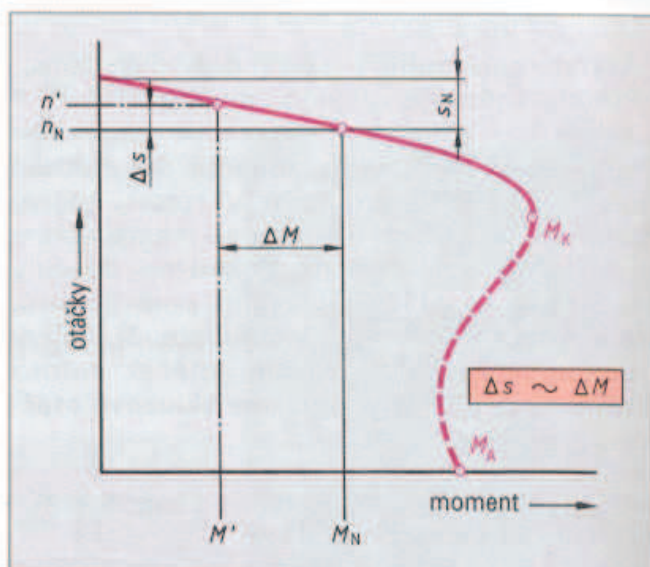
n otáčky rotoru

n_s otáčky točivého pole

s relativní skluz



Obr. 1 Charakteristika asynchronního motoru s hlubokodrážkovým rotorem



Obr. 2 Zatěžovací charakteristika asynchronního motoru s kotvou nakrátko

Sedlový moment M_s odpovídá sedlu v momentové charakteristice (**obr. 1**), tedy nejmenšímu momentu mezi rozběhem a maximální hodnotou momentu M_K . Rozdílným počtem drážek v rotoru a statoru a šikmým nebo stupňovitým uspořádáním tyčových vodičů (**obr. 1, str. 290**) lze docílit stoupající charakteristiky bez sedla.

Zvětšení rozběhového momentu při současném zmenšení rozběhového proudu lze dosáhnout použitím materiálů s větším elektrickým odporem na tyčky klece rotoru, např. hliníkových slitin. Při náběhu se tak zvětší činná část impedance rotoru a zmenší se tak fázový posun mezi magnetickým polem statoru a proudem rotoru, takže i přes pokles rozběhového proudu stoupne jeho činná složka.

Pro zmenšení ztrát ve vodičích rotoru při provozu (provozních otáčkách) jsou rotory konstruovány jako hlubokodrážkové, využívající efekt vytlačování proudu do vnějších vodičů s větším odporem při rozběhu.

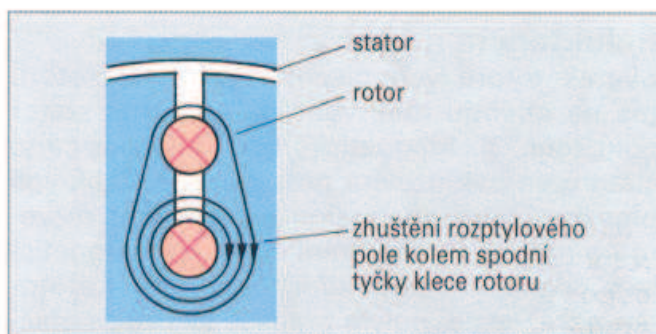
Hlubokodrážkový rotor s dvojitou klecí (rozběhovou a pracovní)

Ke zvýšení odporu klece rotoru při rozběhu lze vytvořit klec s dvojicí vodivých tyček nad sebou (**obr. 2**) tak, že vnější tyčky mají menší průřez a větší odpor. Indukovaný proud vytváří kolem tyček magnetické pole (**obr. 2**). Obě rozptylová pole indukují zpětně napětí, která se snaží podle Lenzova pravidla zmenšit původní střídavé proudy v tyčkách. Magnetický tok kolem spodních tyček (bližších ose rotoru) je silnější, přestože se může převážně uzavírat v železe. Zeslabující účinek na proud je proto silnější než ve vnějších tyčkách rotorové klece. Proud je tedy vytlačován do vnějších tyček klece (skinefekt). Při velkých rozběhových proudech je tedy proud v rotorové kleci vytlačen do vnějších vodičů (rozběhové klece) s menším průřezem a větším odporem a rozběhový proud je pak menší (**obr. 3**), má větší činnou složku a tím menší fázové zpoždění za průběhem magnetického toku statoru a tedy větší silové účinky. Momentová charakteristika (**obr. 4**) je pak při rozběhu příznivější než při jednoduché rotorové kleci s tyčkami kruhového průřezu. Tentýž efekt lze dosáhnout i při jiném tvaru hlubokých drážek (a tomu odpovídajících vysokých vodičů) rotoru (**obr. 1 na str. 292**). Při rostoucích otáčkách klesá proud ve vodičích rotoru, který pak není přesycen, klesne rozptylový tok a tím i efekt vytlačování proudu na povrch (skinefekt) rotorové klece. Při jmenovitých otáčkách je proudová hustota rovnoměrná v celém průřezu vysokých vodičů rotorové klece, tedy větší část proudu teče silnějšími vodiči pracovní klece.

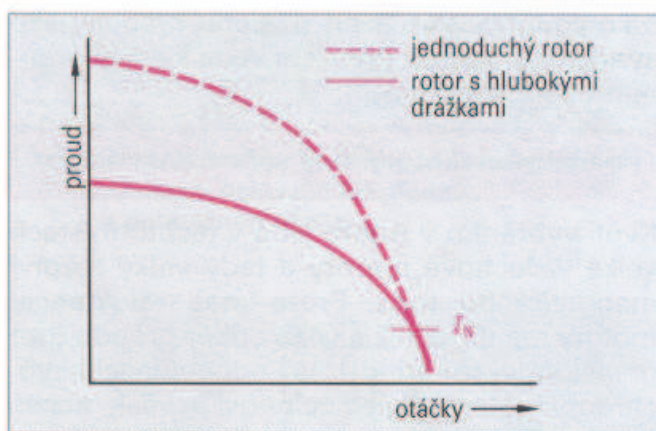
Rotor s hlubokými drážkami má velký rozběhový moment a malý rozběhový proud.



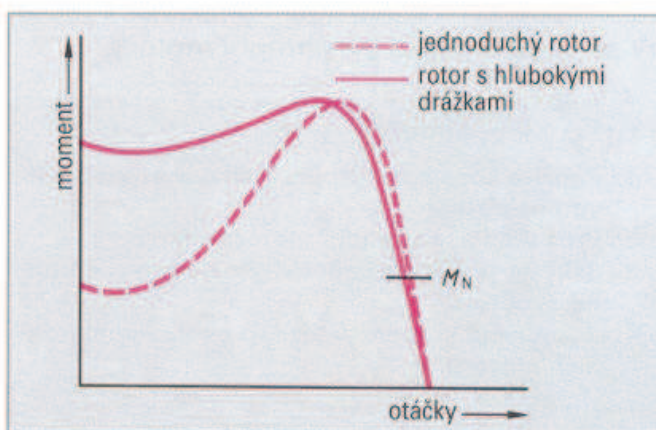
Obr. 1 Provedení klecových rotorů



Obr. 2 Vytlačování proudu (rotor s dvojitou klecí)



Obr. 3 Průběh proudu (odběr)



Obr. 4 Průběh točivého momentu

U hlubokodrážkových rotorů s dvojitou klecí dochází k většímu rozptylu magnetického toku než u jednoduché klece s tyčkami kruhového průřezu. Je zde proto trochu menší účinnost (výkonová) právě tak jako účinník ($\cos \varphi$).

Použití motorů s kotvou nakrátko

Motory s kotvou nakrátko jsou výrobně levné, lehké, nenáročné na údržbu a neruší rozhlas jiskřením (jako komutátorové motory). Slouží jako pohony výrobních strojů malého a středního výkonu, např. pohony obráběcích strojů, jeřábů, ventilátorů a v zemědělství.

Výhodných vlastností lze využít při zatěžování jmenovitým výkonem, při kterém má motor vysokou účinnost i účinník (obr. 2).

Reluktanční motor

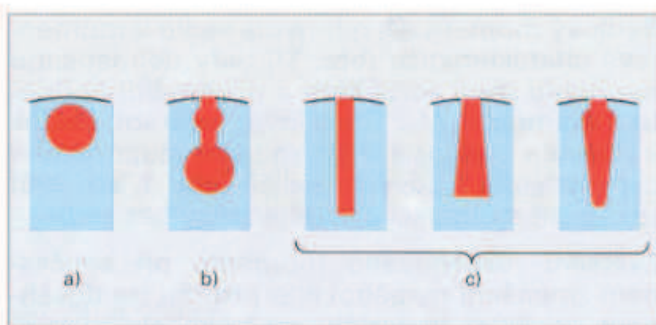
Svazek rotorových plechů klecového rotoru má na obvodu tolik vybrání, kolik má stator pólů (obr. 3). Magnetický tok (indukční čáry) statoru se pak uzavírá přes rotor, a to hlavně přes části oddělené malou vzduchovou mezerou a nikoliv přes vybrání s velkým magnetickým odporem velké vzduchové mezery. Rotor tím získá vlastní póly a brání se skluzu za otáčkami točivého pole statoru. Reluktanční¹ (bránící se – skluzu) motor se rozbíhá jako motor s kotvou nakrátko a po rozběhu pracuje jako synchronní motor. Přetížení vede k asynchronnímu běhu se skluzem.

Reluktanční motory mají synchronní otáčky.

Kvůli vybráním v rotoru jsou v těchto místech velké vzduchové mezery a tedy velký rozptyl magnetického toku. Proto mají reluktanční motory menší účinník a větší odběr proudu (pro menší indukční odpor) než odpovídající asynchronní motory. Jejich účinnost je však menší. Reluktanční motory se používají k pohonu strojů s konstantními otáčkami, např. k pohonu tkalcovských stavů. Malé reluktanční motory se používají jako synchronní motory.

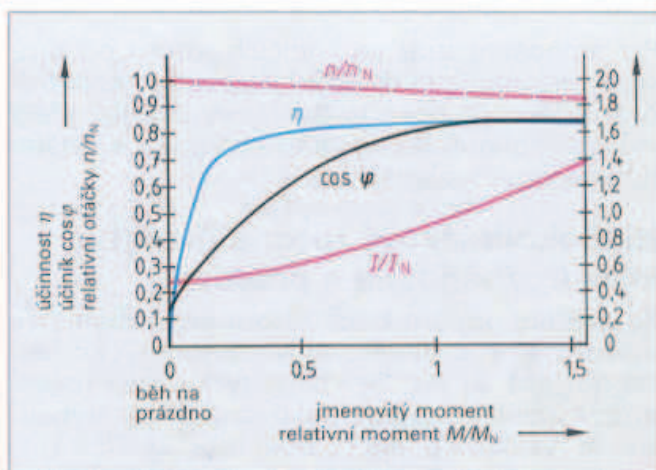
Otázky k opakování

1. Popište konstrukci trojfázového motoru s kotvou nakrátko.
2. Proč mají asynchronní motory skluz?
3. Jaký je přibližně jmenovitý skluz asynchronních motorů?
4. Jak působí kolísání zátěže na skluz asynchronních motorů?

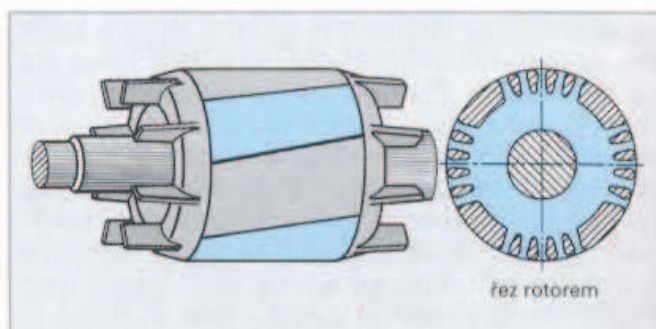


Obr. 1 Tvary drážek v rotorech nakrátko

- a) drážky pro kruhové tyče
- b) drážky pro dvojitou klec
- c) tvary hlubokých drážek



Obr. 2 Typické charakteristiky motorů s kotvou nakrátko, jmenovitých výkonů 2 kW až 5 kW



Obr. 3 Rotor a rotorový plech reluktančního motoru

¹ reluctari (lat.) = vzpírat se

12.2.3 Rozběh kotvy nakrátko (statorové spouštění)

Motory s kotvou nakrátko mají na začátku rozběhu velké rozběhové proudy. Pro zabránění rušivému kolísání síťového napětí předepisují rozvodné závody pro motory vyšších výkonů spouštěcí zařízení. Přípustný rozběhový proud musí vyhovovat technickým podmínkám pro připojování zařízení k síti (**viz tabulka**).

U trojfázových motorů s výkonem nad 5 kW je vyžadován spouštěcí režim omezující rozběhový proud.

Zmenšení velkého rozběhového proudu je u motorů s kotvou nakrátko možné jen zmenšením rozběhového napětí statoru. K tomu se používá statorový rozběhový režim.

Statorové rozběhové režimy zmenšují rozběhový proud snížením napětí statoru.

Výkon a točivý moment motoru jsou úměrné čtverci napětí. Odpovídajícím poměrem se také zmenšuje výkon i moment při zmenšování napětí.

Při statorovém rozběhovém režimu je točivý moment úměrný čtverci statorového napětí.

Je-li motor spouštěn při polovině jmenovitého napětí, má jen čtvrtinu rozběhového momentu. Průběh charakteristik ukazuje, že zde motor nedosáhne při jmenovité zátěži požadovaného momentu (**obr. 1**).

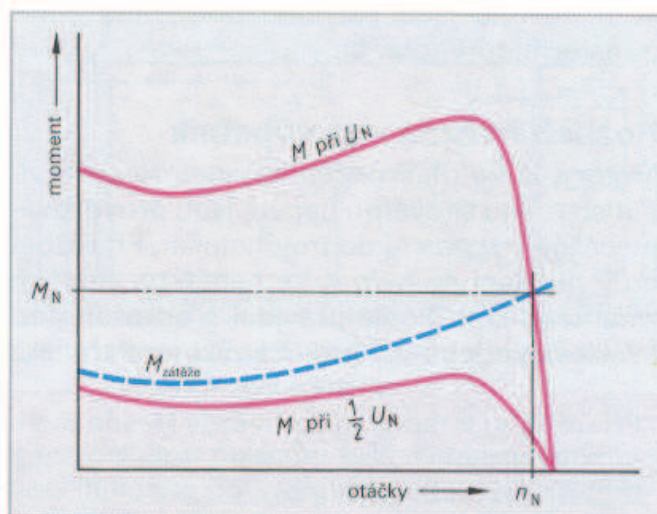
Statorové rozběhové režimy mohou být používány jen při sníženém zatížení nebo rozběhu motoru bez zatížení.

Statorový spouštěč s odpory

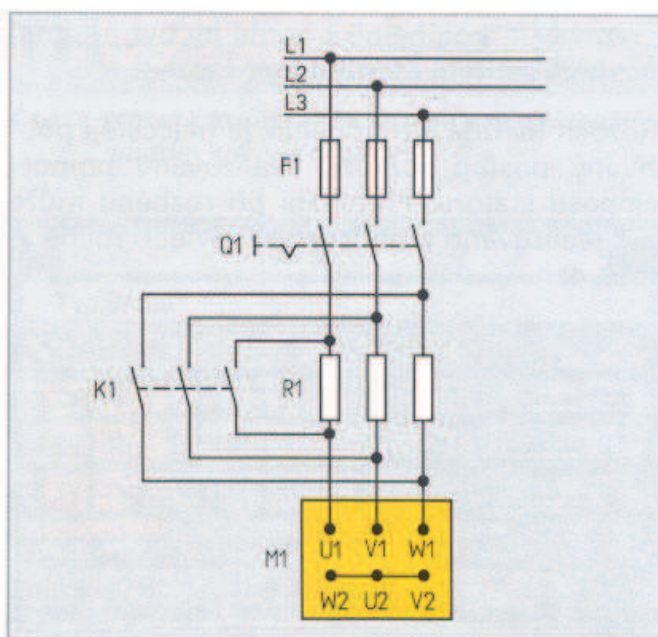
Ke zmenšení napětí statoru při rozběhu jsou do přívodů při rozběhu zařazovány omezovací odpory (**obr. 2**). Tím se zmenší odpovídajícím způsobem rozběhový proud. Pro rozběh motoru zapojeného do hvězdy mohou být odpory připojeny také na výstupní svorky, protože jsou s vinutími i takto v sérii (**obr. 1 na str. 294**). Mluvíme pak o režimu **hvězdového spouštění**. Při použití předřadných činných odporů dochází k tepelným ztrátám. Pro zabránění vzniku tepelných ztrát jsou používány předřadné cívky, které však zase zhoršují účinník v síti.

Tabulka: Podmínky připojování motorů do sítě nízkého napětí (do 1000 V)

jednofázové střídavé motory	jmenovitý výkon do 1,4 kW
trojfázové motory	rozběhový proud do 60 A*
motory se zvláštním síťovým zatížením	potřebná opatření jsou stanovena rozvodnou organizací
* není-li rozběhový proud znám, je dosazen osminásobek jmenovitého proudu	



Obr. 1 Charakteristiky točivého momentu motoru s kotvou nakrátko při plném a polovičním napětí



Obr. 2 Trojfázový motor s rozběhovými odpory v přívodním vedení

K rozběhu malých motorů s kotvou nakrátko se používá zapojení k měkkému rozběhu tvořené jen jedním odporem (**obr. 2**). Toto zapojení se používá hlavně pro snížení rozběhového momentu pohonů textilních strojů.

Rozběhové transformátory

Transformátory zmenšují při rozběhu napětí a tím i rozběhový proud motoru. Převodním poměrem transformátoru je tento proud odebíraný ze sítě ještě dále zmenšen. Odebíraný rozběhový proud se tedy zmenšuje úměrně čtverci zmenšení rozběhového napětí.

Rozběhové transformátory jsou používány např. pro motory velkého výkonu. Z ekonomických důvodů jsou většinou používány autotransformátory (**obr. 3**).

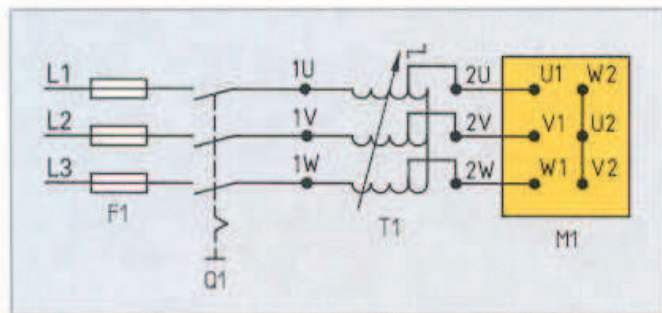
Rozběh hvězda – trojúhelník

Motory, které mají napětí na (statorových) vinutích rovno síťovému napětí, jsou provozovány běžně v zapojení do trojúhelníku. Při rozběhu v zapojení do hvězdy se napětí na vinutích zmenší $\sqrt{3}$ krát. Podle pravidel o sdružení fází tak klesne odebíraný proud i výkon na třetinu.

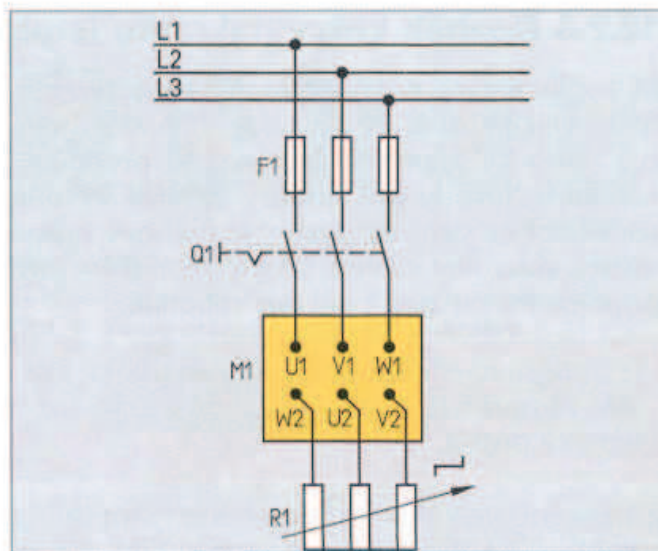
Při rozběhu v zapojení do hvězdy klesne rozběhový proud i točivý moment trojfázového motoru na třetinu hodnoty při zapojení do trojúhelníku.

Rozběh s přepnutím z trojúhelníku na hvězdu se tedy může realizovat jen při malém zatížení motoru. Pokud by motor nebyl při rozběhu přepnut do trojúhelníku, mohl by být při jmenovitém zatížení přetížen a poškozen.

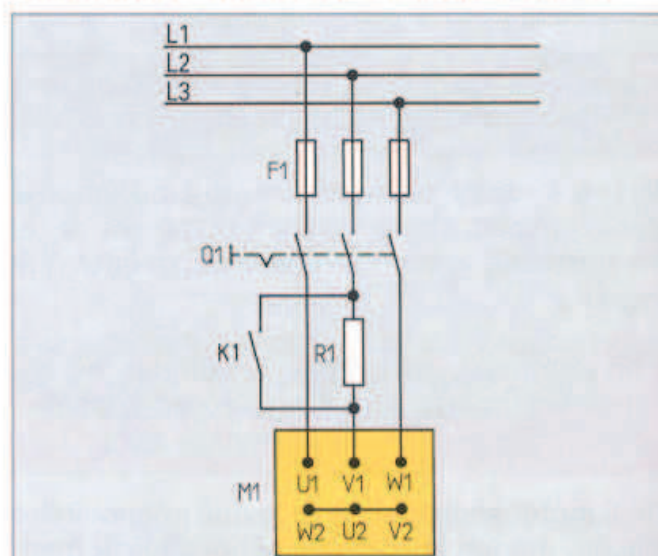
Rozběh hvězda – trojúhelník je nejčastěji používaný postup rozběhu realizovaný pomocí činnosti statoru. Přepínání při rozběhu může být realizováno pomocí stykačů nebo ručně (**obr. 4**).



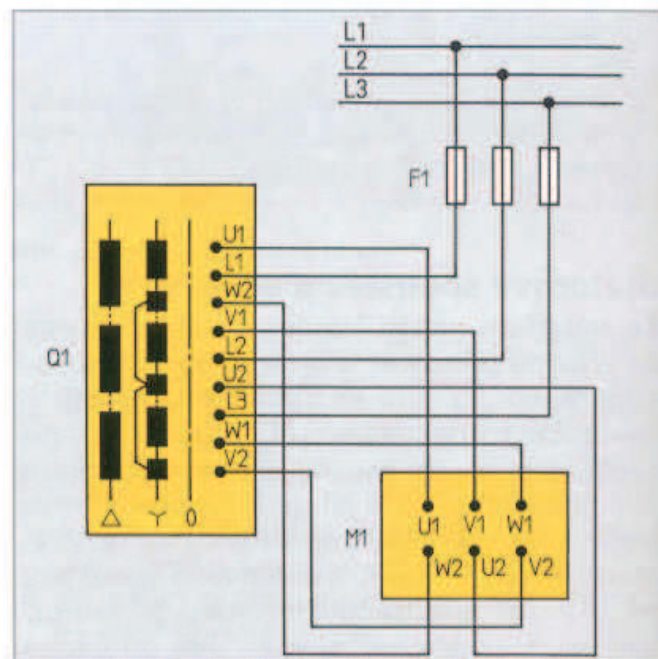
Obr. 3 Trojfázový motor s rozběhovým transformátorem



Obr. 1 Odporový spouštěč s nulovým bodem



Obr. 2 Měkký rozběh s jedním odporem



Obr. 4 Trojfázový motor s ručním přepínačem hvězda – trojúhelník

12.2.4 Motory s kroužkovou kotvou

Konstrukce. Stator motoru s kroužkovou kotvou má stejnou konstrukci jako stator motoru s kotvou nakrátko (**obr. 1**). Na hřídeli rotoru je svazek rotorových plechů a sběrné kroužky. V drážkách rotorového svazku plechu je uloženo vinutí rotoru. Vinutí rotoru má téměř vždy tři cívky (trojfázové vinutí), které je zapojeno většinou do hvězdy, zřídka do trojúhelníku. Vinutí rotoru je připojeno na tři sběrací kroužky. Připojení na sběrací kroužky je realizováno třemi přitlačnými uhlíkovými kontakty (kartáči). Přes tyto uhlíkové kartáče mohou být zapojeny do obvodu cívek rotoru činné odpory, které slouží k rozběhu nebo regulaci otáček motoru.

Prívody rotoru se třemi cívkami jsou označeny K, L, M (**obr. 2**).

U motorů velkých výkonů může být rotor navinut jako dvoucívkový. Označení prívodů je pak K, L, Q (**obr. 3**).

Princip činnosti. Motor s kroužkovou kotvou s kroužky (resp. kartáči) propojenými nakrátko pracuje na stejném principu jako motor s kotvou nakrátko.

Pokus 1: Připojte na dva kroužky (kartáčové sběrače) motoru s kroužkovou kotvou voltmetr a připojte napájení na stator.

Rotor se neotáčí, ale mezi kroužky naměříme napětí.

Při nehybném rotoru působí stator s rotorem jako transformátor, ve kterém působí stator jako primární vinutí a rotor jako sekundární vinutí. Napětí naměřené takto při nehybném rotoru nazýváme **klidové napětí rotoru**.

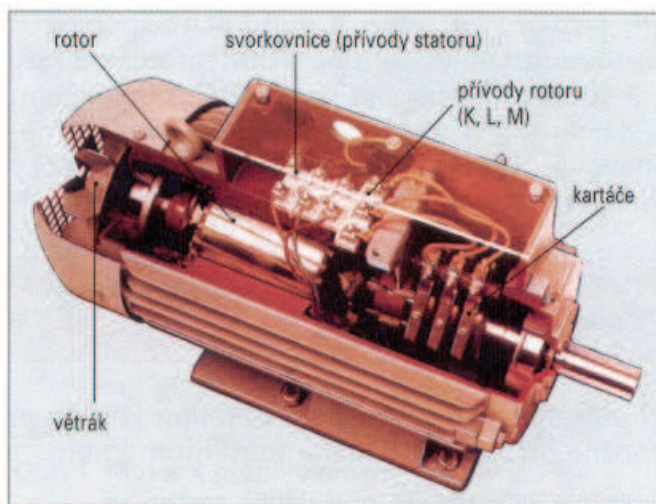
Pokus 2: Propojte dva kroužky (resp. kartáče) přes ampérmetr a jeden z nich spojte nakrátko se zbývajícím třetím kroužkem (kartáčem). Připojte na stator napájení.

Ručka ampérmetru se vychýlí a rotor se roztočí.

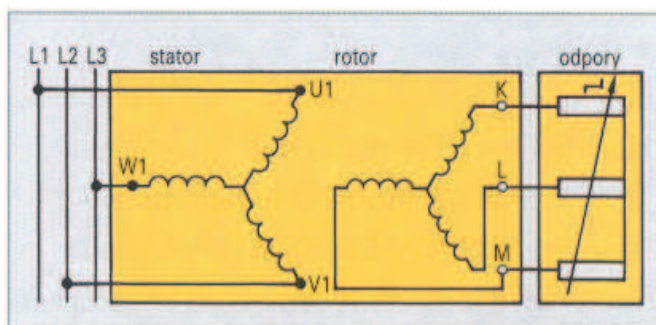
Při nakrátko zapojeném rotoru vyvolá napětí indukované v rotoru proud. Magnetické pole statoru a proud rotoru vyvolají otáčivý moment a roztočí rotor.

Klidové napětí rotoru a klidový proud rotoru jsou udávány na štítku motoru kvůli dimenzování rozběhových odporů (**obr. 4**).

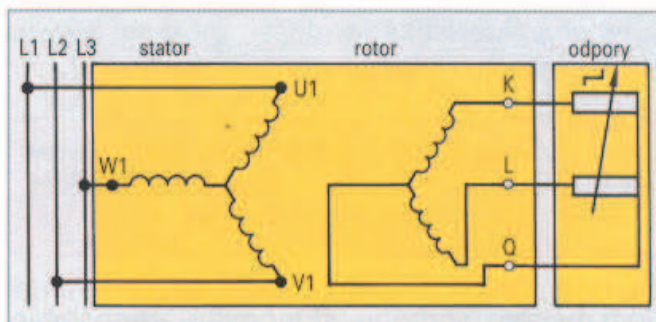
Provoz. Vlastností motorů s kroužkovou kotvou jsou při zapojení kotvy nakrátko stejné jako vlastnosti asynchronních motorů s kotvou nakrátko.



Obr. 1 Motor s kroužkovou kotvou



Obr. 2 Motor s kroužkovou kotvou s trojfázovým vinutím kotvy a odpory



Obr. 3 Motor s kroužkovou kotvou s dvojfázovým vinutím kotvy a odpory

Výrobce			
Typ DA 80			
D – motor		Nr. 7660	
Δ 400		V	178 A
100 kW S3		cos φ 0,89	
1460 /min		50	Hz
rotor 		245 V	248 A
isol.– KI.B		IP 44	1,1 t
VDE 0530 / 11.95			

Obr. 4 Štítek motoru s kroužkovou kotvou

Při provozu se zátěží a odporech zapojených v obvodu kotvy stoupne skluz, protože ztráta na odporech musí být kryta větším indukčním výkonem. Je-li možno odpory stupňovitě nastavovat, je tak možno stupňovitě řídit otáčky motoru (obr. 1).

Otáčky motoru s kroužkovou kotvou se řídí odpory v obvodu kotvy.

Řízení otáček motoru s kroužkovou kotvou je možné při zatížení konstantním momentem.

U motorů s kroužkovou kotvou velkých výkonů je snižování otáček pomocí odporů v trvalém provozu neekonomické pro velké tepelné ztráty.

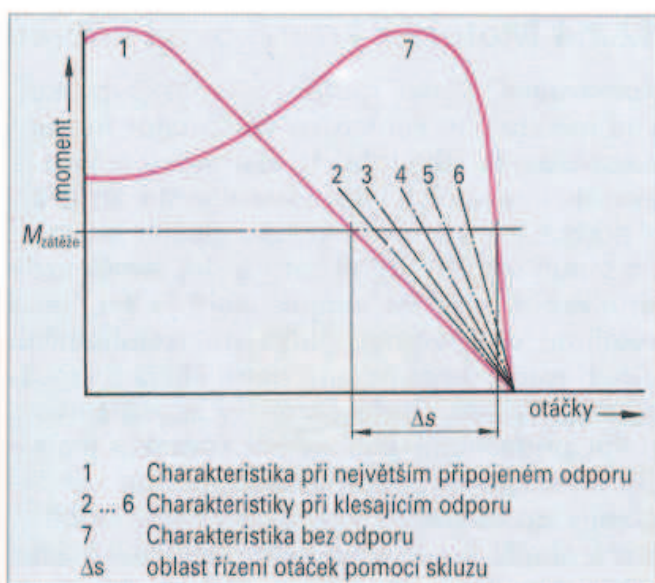
12.2.5 Rozběh motoru s kroužkovou kotvou (rotorové spouštění)

Zařazením spouštěcích odporů do obvodu kotvy motoru s kroužkovou kotvou je možno výrazně omezit rozběhový proud. Kvůli velkému podílu činné složky proudu kotvy stoupá nejprve ztlačeně rozběhový moment. Momentová charakteristika je plošší, moment zvratu je posunut do oblastí rozběhu (obr. 1).

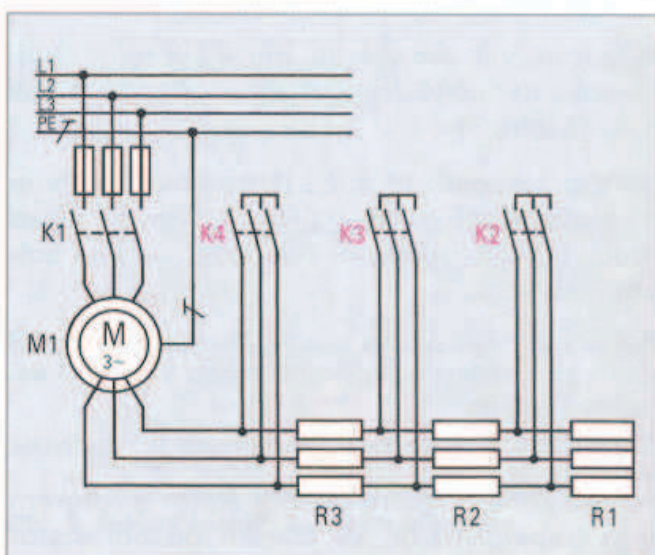
Motory s kroužkovou kotvou vyvíjejí velký rozběhový moment při malém rozběhovém proudu. Mohou být spouštěny zatížené.

Je-li během rozběhu stupňovitě zmenšován rozběhový odpor (obr. 2), může se motor při správném nastavení spouštěče měkce rozbíhat i s velkým zatížením (obr. 3). Jsou tak odstraněny špičky rozběhového proudu. Motory s výkony nad 20 kW mají většinou zařízení pro nadzvednutí kartáčů. Po rozběhu motoru jsou pomocí tyček kroužky zkratovány a současně jsou zvednuty kartáče.

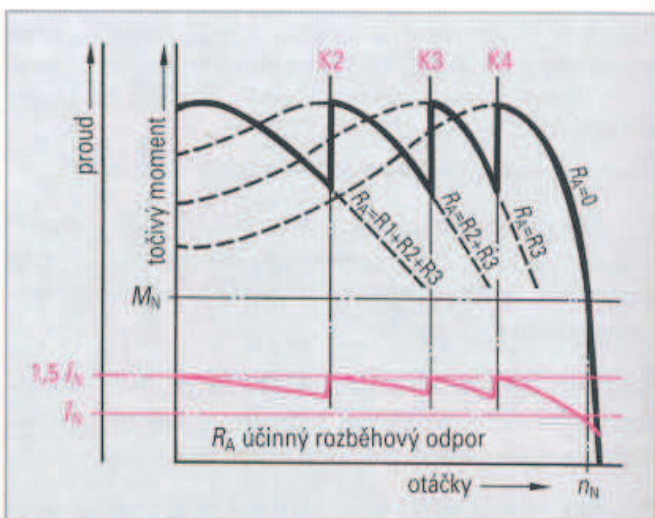
Použití. Motory s kroužkovou kotvou jsou konstruovány od 5 kW do 500 kW. Používají se jako pohony přečerpávacích čerpadel, drtičů kamene a velkých obráběcích strojů a také jako pohony s velkými výkony a s těžkým rozběhem, např. pro zvedáky. Kvůli nebezpečí požáru (jiskření kartáčů) nesmějí být motory s kroužkovou kotvou používány v zemědělství.



Obr. 1 Řízení otáček motorů s kroužkovou kotvou připojováním odporů do obvodu kotvy



Obr. 2 Motor s kroužkovou kotvou s třístupňovými rozběhovými odpory



Obr. 3 Točivý moment a rozběhový proud motoru s kroužkovou kotvou s třístupňovým rozběhovým odporem

12.2.6 Motory s přepojovatelnými póly

Veřejná napájecí síť má pevný kmitočet a změna otáček je u motorů s kotvou nakrátko prováděna přepínáním pólů. Mění-li se počet pólů statoru, mění se otáčky točivého pole a tím i otáčky rotoru.

Motor s oddělenými statorovými vinutími

Dvě oddělená statorová vinutí s rozdílnými počty pólů (obr. 1) umožňují dvoje otáčky, které mohou být v libovolném celočíselném poměru, např. 3 : 4. Točivý moment je při obojích otáčkách téměř stejný, výkony motoru jsou přibližně v poměru otáček.

Motory s oddělenými vinutími mají zvýšené náklady na vinutí i elektroplechy. Jsou proto používány jen tam, kde není použitelný poměr otáček 1 : 2. Na svorkovnici jsou zpravidla vyvedeny jen začátky vinutí (obr. 1).

Motor s dělenými vinutími statoru

Při dělení vinutí (Dahlanderovo zapojení) je každé vinutí statoru rozděleno odbočkou na dvě části. Přepínáním skupin (cívek) ze sériového zapojení na paralelní zapojení je totiž původní počet pólů zmenšen na polovinu a tím se zdvojnásobí otáčky točivého pole statoru (vinutí na str. 334).

Nejpoužívanější Dahlanderovo zapojení je zapojení **trojúhelník – dvojitá hvězda** (obr. 2). Sériové spojení částí vinutí znamená sdružení vinutí do trojúhelníka, při paralelním zapojení umožní sdružení do hvězdy snížením napětí zabránit vysoké indukci v oblasti drážek statoru. Tím je dosaženo pomocí zdvojnásobení otáček přibližně 1,5-té zvýšení výkonu. Točivý moment zůstává v obou oblastech stejný. Proto se motory s Dahlanderovým zapojením hodí zvláště dobře pro pohony s konstantním točivým momentem, např. pro obráběcí stroje.

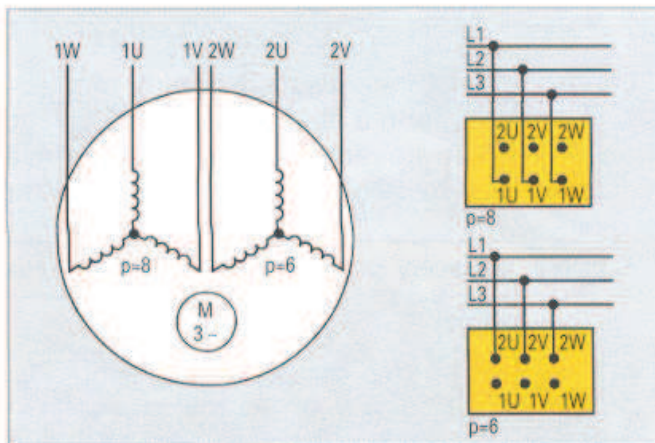
Motory s Dahlanderovým zapojením umožňují zdvojnásobení otáček zmenšením počtu pólů na polovinu.

Svorkovnice motoru s Dahlanderovým zapojením má pro každý počet pólů 3 svorky, neboť části vinutí bývají nejčastěji spojeny na statoru (obr. 2). Motor proto může být používán jen na jediné síťové napětí.

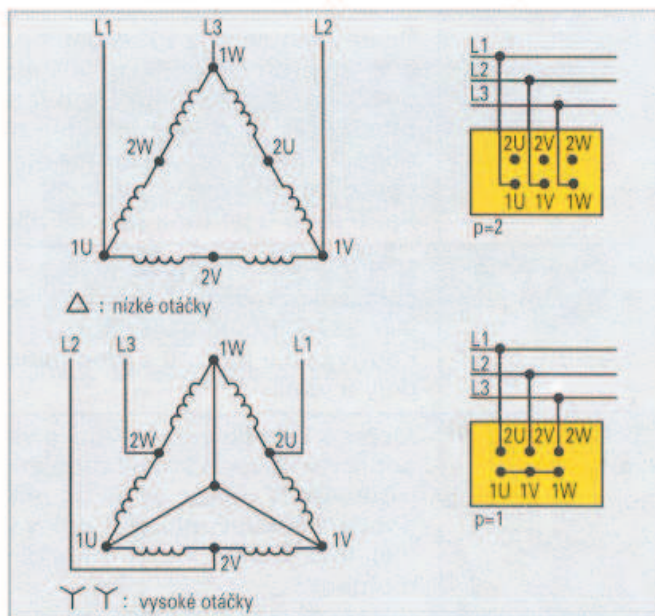
Svorky pro nízké otáčky jsou označeny 1U, 1V, 1W a pro vysoké otáčky 2U, 2V, 2W. Zde často bývají od výrobce přehozeny svorky 1U a 1W. Výměna je vyžadována, aby při připojení stejného typu zůstal zachován směr otáčení motoru při obou hodnotách otáček.

Má-li motor dvě oddělená a zároveň dělená vinutí, je možno přepojováním získat až 4 různé otáčky.

Motory s přepojovatelnými póly jsou ve zvláštních případech provedeny jako přepojovatelné dvojitá hvězda – trojúhelník (YY/Δ) nebo hvězda – dvojitá hvězda (Y/YY). Motory s přepínáním YY/Δ mají při obou stupních otáček stejné výkony. Motory s přepínáním Y/YY mají při dvojnásobných otáčkách čtyřnásobný točivý moment (použití např. pro motory ventilátorů).



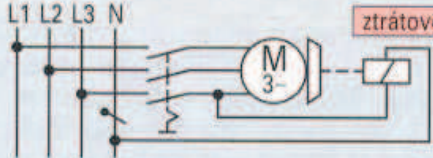
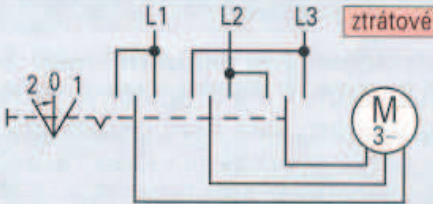
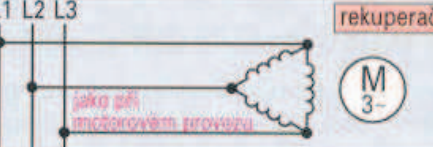
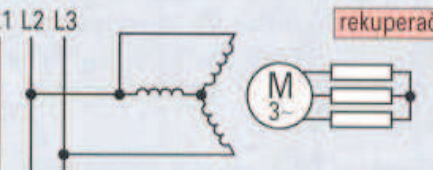
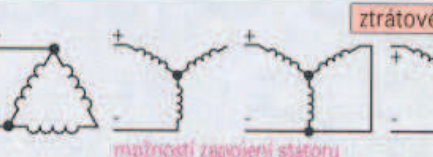
Obr. 1 Motor s přepojovatelnými póly se dvěma oddělenými statorovými vinutími



Obr. 2 Motor s přepojovatelnými póly s Dahlanderovým vinutím (trojúhelník – dvojitá hvězda)

12.2.7 Brzdění trojfázových asynchronních motorů

Pohony s trojfázovými asynchronními motory musí být často zabrzděny, např. u jeřábů při spouštění břemene nebo u obráběcích strojů při rychlém zastavení. K brzdění se nabízí řada možností (tabulka). Při ztrátovém brzdění je přeměňována kinetická energie v energii tepelnou, při rekuperačním brzdění je přeměňována kinetická energie v elektrickou energii.

Tabulka: způsoby brzdění pohonů s trojfázovými asynchronními motory		
označení	popis činnosti	zapojení (funkční)
elektromagnetický odbrzdovač (přítlaková pérová brzda)	Třecí přítlaková brzda je přitlačována pěrem při vypnutí motoru. Při zapnutí motoru je brzda elektromagnetem odtažena od brzdného kotouče. Používá se u obráběcích strojů a u zdvihacích mechanismů.	
brzdění protiproudem	Brzdný moment je způsoben opačným směrem točivého pole statoru, docíleným přehozením dvou fázových přívodů. Po zastavení je nutno motor odpojit, aby se nezačal rotor otáčet opačným směrem. Používá se u pohonu pásové pily.	
nadsynchronní brzdění	Motor je poháněn mechanicky spřaženým mechanismem a pracuje jako asynchronní generátor. Používá se u motorů s přepínatelnými póly u jeřábů.	
podsyncronní brzdění	Motor s kroužkovou kotvou, s velkými odpory v obvodu kotvy, zapojený jako jednofázový motor, vyvíjí při otáčení doprava otáčivý moment doleva. V klidovém stavu nevzniká brzdný moment.	
brzdění stejnosměrným proudem	Statorové vinutí je připojeno na nízké stejnosměrné napětí. Proud indukovaný v otáčejícím se rotoru brzdí. Používá se u obráběcích strojů a pohonu navijáků.	

Energie odebraná asynchronním motorem během (nezatíženého) rozběhu je vzhledem ke klesajícímu skluzu přeměněna přibližně z jedné poloviny na teplo a z druhé poloviny na kinetickou energii rotoru. Při brzdění je třeba odebrat a přeměnit energii rotoru (případně soustavy spojené s rotorem přes hřídel motoru). Při brzdění třecí brzdou, podasynchronním brzděním a při brzdění stejnosměrným proudem tekoucím státorem je energie rotoru přeměňována v teplo. Při nadsynchronním brzdění pracuje motor jako generátor, takže dochází jen k malým ztrátám. Nadsynchronní brzdění lze dobře využít u motorů s přepojitelnými póly, když přepólujeme z vysokých otáček na nízké a kotva pak předbíhá točivé (pomalootáčkové) pole statoru. Pokud se u motoru s přepojitelnými póly s poměrem počtů pólů 2 : 1 použije třecí brzda jen k dobrzdění z polovičních otáček, budou tepelné ztráty při brzdění činit jen 25% ztrát podobného motoru bez přepojitelných pólů. Při brzdění opačným proudem (statoru) jsou ztráty zvláště veliké, neboť skluz klesá během brzdění z 200% na 100%.

Je-li motor během brzdění zatížen, musí být při brzdění přeměněna navíc energie soustavy spojená s hřídelí motoru. I zde je možno použít ztrátové nebo rekuperační brzdění.

Nadsynchronní brzdění je výhodné, brzdění opačným proudem je nevýhodné.