

# Elektrické pohony

Automatizace v oděvní výrobě

Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Obecné požadavky na elektropohony PR:

Jmenovité otáčky

$$n_n = 3000 \sim 5000 \text{ min}^{-1}$$

Jmenovité momenty na hřídeli motoru

$$M_n = 0,05 \div 25 \text{ Nm}$$

Rozsah výkonů

$$P_n = 0,01 \div 7,5 \text{ kW}$$

Vysoký koeficient momentové přetížitelnosti

$$\frac{M_n}{M_{\max}} = \begin{cases} 5-7 \text{ DC motory} \\ 2-2,5 \text{ AC motory} \end{cases}$$

Elektromagnetické brzdy  $M_T = 0,1 M_n$  s reakčním časem  $\tau_R < 0,1 \text{ s}$

(brzdí při odpojení napětí a odbržďuje při přivedeném napětí)

Minimální počet reverzací

$$2500 \text{ h}^{-1}$$

Elektromechanická kontrola motoru

$$\tau_m = 20 \div 50 \text{ ms}$$

Vysoké mezní zrychlení

$$\epsilon_{\max} = 2000 \div 10\,000 \text{ s}^{-2}$$

špičkově až  $10^4 \text{ s}^{-2}$

Poznámka:

$$\epsilon_{\max} = \frac{M_{\max}}{J_R}$$

$M_{\max}$  ... max. kroutící moment Nm

$J_R$  ... moment setrvačnosti rotoru

$\epsilon_{\max}$  ... max. zrychlení motoru bez zátěže

$$\tau_m = \frac{\omega_n}{\epsilon_{\max}} = \frac{J_R \cdot \omega_n}{M_{\max}} \quad \dots \text{ snaha minimalizovat}$$

$\tau_m$  ... elektromech. časová konstanta motoru = doba rozběhu na jmenovité otáčky

Obecně lze vymežit používání elektromotorů pro PR:

A. Elektropohony se stejnosměrnými motory (DC pohony)

B. Elektropohony s asynchronními motory (AC pohony)

C. Elektropohony s krokovými motory

# Stejnoseměrné pohony DC

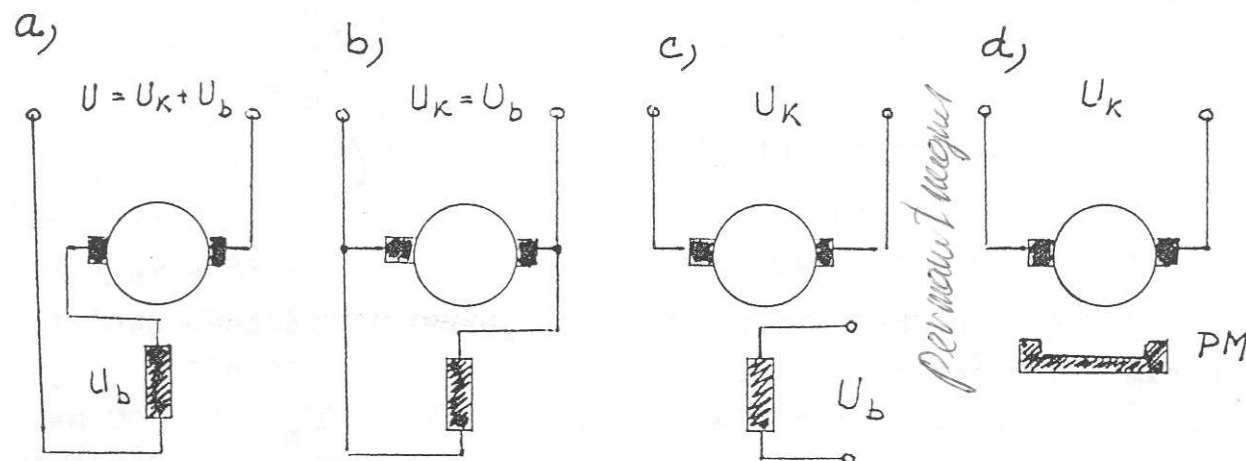
## A. Stejnoseměrné pohony PR

Společným konstrukčním znakem je stator s póly a rotorem je kotva s vinutím, na které je přiváděno napětí přes komutátor.

V zásadě je nutné rozlišit:

- motory sériové
- motory derivační
- motory s cizím buzením
- motory s permanentními magnety

Tyto motory se liší vnitřním zapojením a vlastnostmi.



# Stejnoseměrné pohony

Nejrozšířenějším způsobem řízení pohybové frekvence DC motorů je řízení změnou napětí v obvodu kotvy. Pro jednotlivé typy motorů se regulační možnosti a vlastnosti pohonů liší:

- a) sériový motor - vhodný pro velké záběrové momenty, má měkkou momentovou charakteristiku a nesmí pracovat nezatížený (mohla by se poškodit kotva);
  
- b) derivační motor - otáčky tohoto motoru se mění nepatrně (5 - 10 %) se zatížením, tento motor má tvrdou charakteristiku, otáčky se regulují především změnou napětí kotvy, případně přes zařazený reostat změnou budicího napětí;

- c) s cizím buzením - mají podobné vlastnosti jako motory derivační, jsou vhodné pro hospodárné řízení pohybové frekvence. Magnety se budí konstantním napětím a kotva se napájí proměnným napětím. Mají široký regulační rozsah a dostatečně tvrdou momentovou charakteristiku a dobré dynamické vlastnosti.  
Platí zde základní vztahy:

$$U_K = U_i + R_K \cdot I_K$$

kde  $U_K$  ... svorkové napětí kotvy

$$U_i = k_U \cdot \varnothing \cdot n \dots \text{vnitřní napětí, } \varnothing \dots \text{mg} \cdot \text{tok}$$

Pro moment na hřídeli platí

$$M = k_m \cdot \varnothing \cdot I_K$$

kde  $k_U$ ;  $k_m$  ... konstanty úměrnosti (číselně  $k_U = k_m = k$ )

Pak

$$n = \frac{U_K - R_K I_K}{k \varnothing} = \frac{U_K - R_K I_K}{C} \quad \text{resp} \quad n = \frac{U_K}{k \varnothing} - \frac{R_A}{k^2 \varnothing^2} \cdot M$$

- d) Motory s permanentními magnety

Budící vinutí ve statoru je nahrazeno PM, svými vlastnostmi přechod mezi sériovým a derivačním motorem, protože má poněkud měkčí charakteristiku. Motor má:

- vysoký záběrový moment;
- lineární závislost momentu na rychlosti otáčení;
- velmi dobré dynamické vlastnosti.

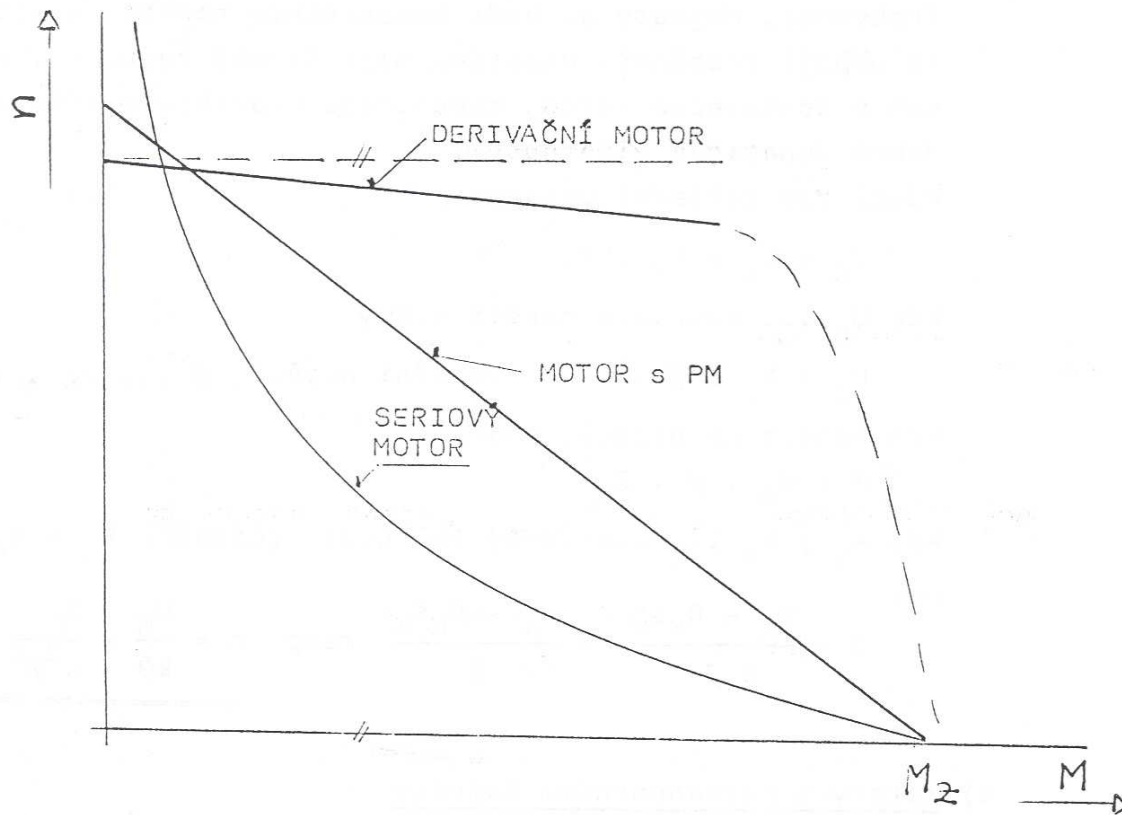
Má výhodné vlastnosti:

- odpadá budící vinutí;
- motor je menší a lehčí (má vyšší měrný výkon);
- nové materiály PM zlepšují charakteristiku motoru (Barium ferity, Stroncium ferity)

Nevýhody: závislost na teplotě;  
jiskření komutátoru.

# Stejnoseměrné pohony

- Momentová charakteristika DC motorů

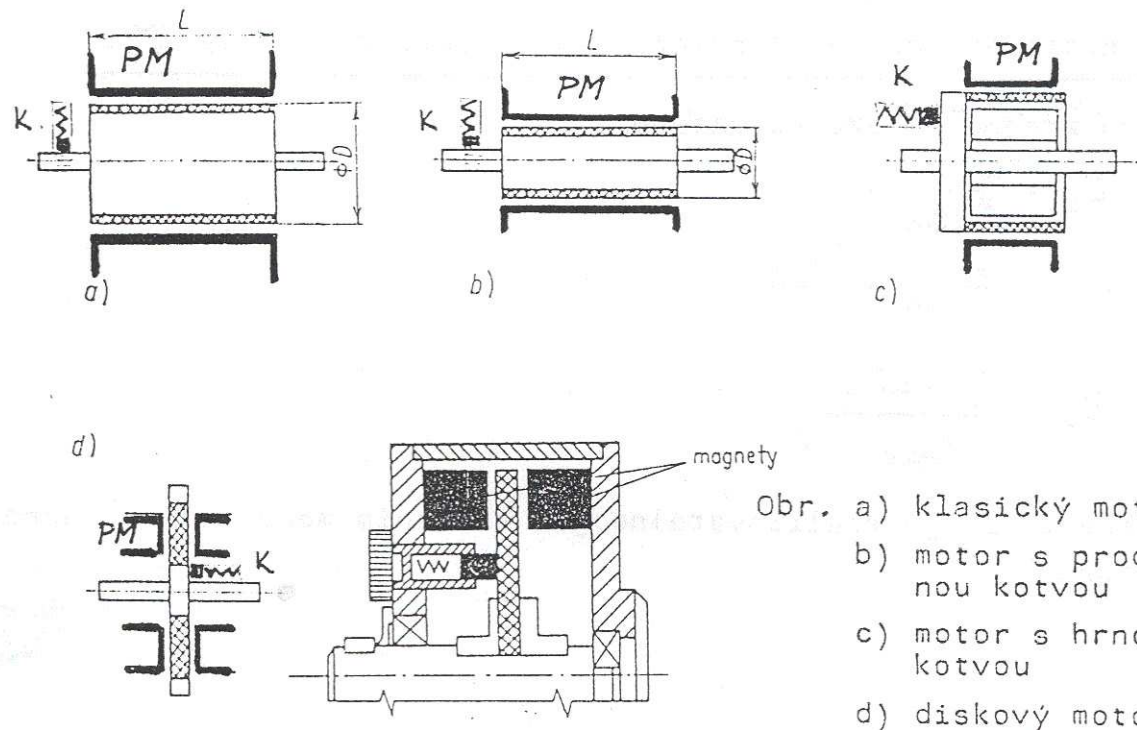


Z uvedených vztahů je zřejmé, že vhodnou volbou rozměrů lze snížit  $J_R$  a zachovat výkon motoru, jedna z cest je zvětšení poměru  $\lambda = \frac{L}{D}$  (viz obr.)

Výsledkem jsou motory MEZOMATIC s prodlouženou válcovou kotvou, nebo motory HSM s hrncovou kotvou.

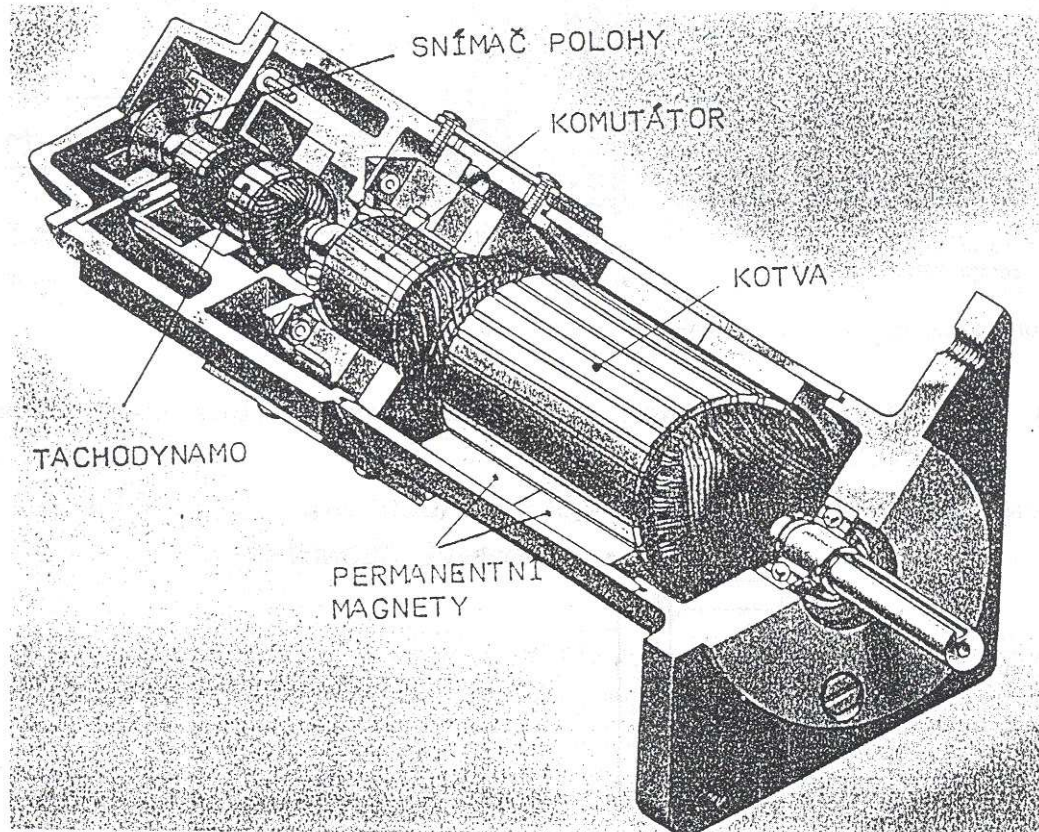
Kvalitativně nové uspořádání (inovace vyššího řádu) vede k uspořádání kotvy do tvaru disku - diskové motory, což jsou opět DC motory se statorem z PM, kdy kotva je tvořena diskem z plastické hmoty s oboustranně natištěným vinutím. Mají velmi malý  $J_R$  a vysoké  $\varepsilon_{MAX} = 10^4 \div 10^5 \text{ s}^{-2}$ .

Trend vývoje konstrukcí DC motorů:



Obr. a) klasický motor  
 b) motor s prodlouženou kotvou  
 c) motor s hrncovou kotvou  
 d) diskový motor

Řez typickým servomotorem se snímáním otáček pomocí tachodynama a snímačem polohy (inkrementální čidlo)

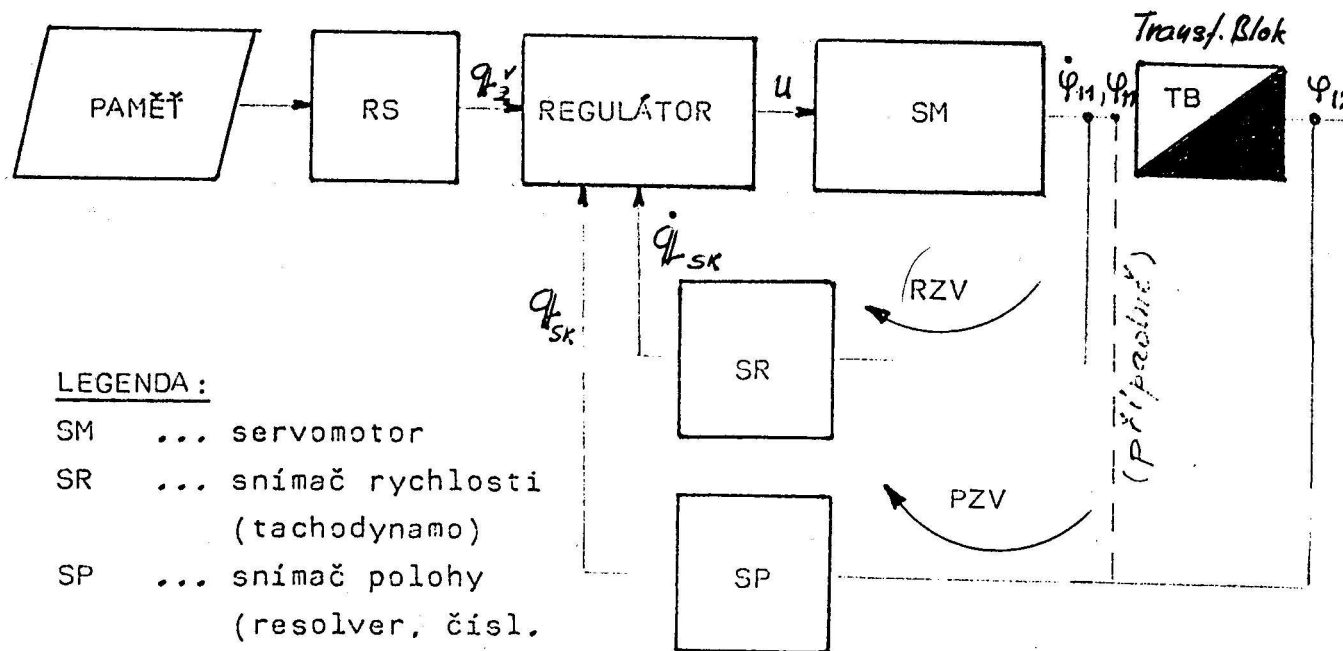




Servomechanismus — rychlostní - obsahuje rychlostní zpětnou vazbu (RZV)  
 — polohový - obsahuje RZV a navíc polohovou zpětnou vazbu (PZV)

Polohový autonomní servomechanismus je složitější a má lepší vlastnosti oproti rychlostnímu, jeho vlastnosti závisí zejména na obvodovém řešení polohové smyčky.

Blokové schéma skladby zpětnovazebního systému



LEGENDA:

- SM ... servomotor
- SR ... snímač rychlosti (tachodynamo)
- SP ... snímač polohy (resolver, čísl. odměřovač)
- RZV ... rychlostní zpětná vazba
- PZV ... polohová zpětná vazba

# AC Asynchronní motory

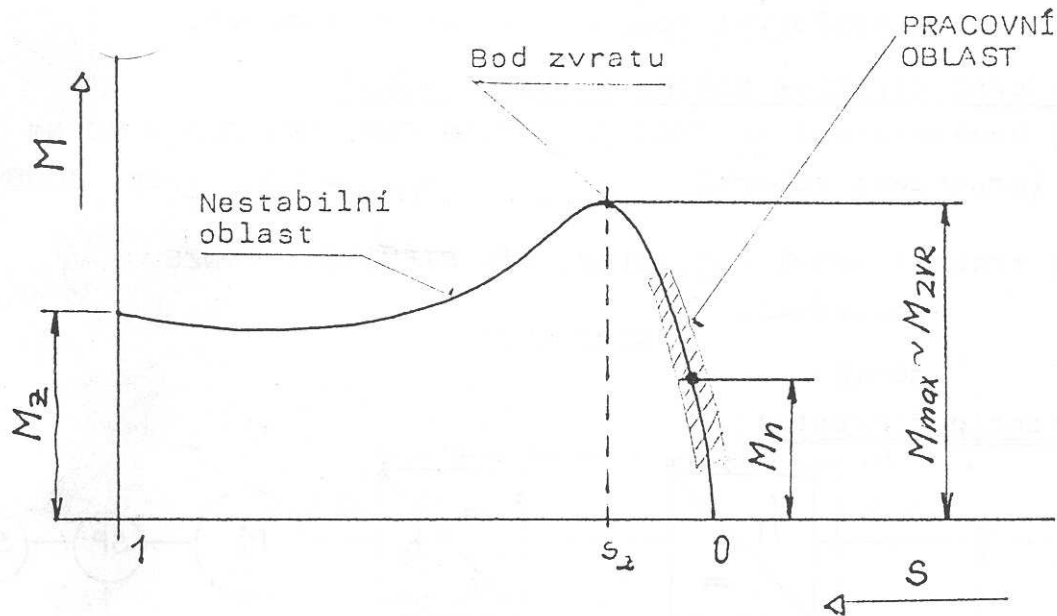
V poslední době nastupuje významné rozšíření tohoto typu motorů pro PR.

Máme-li posuzovat možnosti aplikace, je nutné sledovat otáčkovou charakteristiku AC motoru a možnosti řízení rychlosti.

Z principu činnosti je zřejmé, že pro vytvoření točivého momentu je nezbytný určitý rozdíl otáček točivého mg. pole  $n_s$  a frekvence otáčení motoru, což lze definovat skluzem

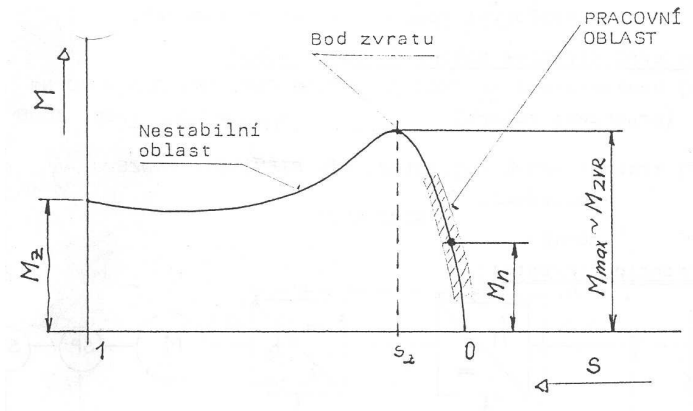
$$s_{KL} = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Momentová charakteristika:



# AC Asynchronní motory

Momentová charakteristika:



Pracovní oblast je pro hodnoty skluzu  $s \in (0, s_z)$ , kde

$$M_{ZAT} < M_{ZVR}, \quad s_z = \frac{n_s - n_z}{n_s}.$$

Pro otáčky asynchronního motoru platí vztah:

$$n = (1 - s) \cdot \frac{60 f}{p}$$

n = 8 pólů	680 ot.min <sup>-1</sup>
6 pólů	970
4 póly	1420
2 póly	2800

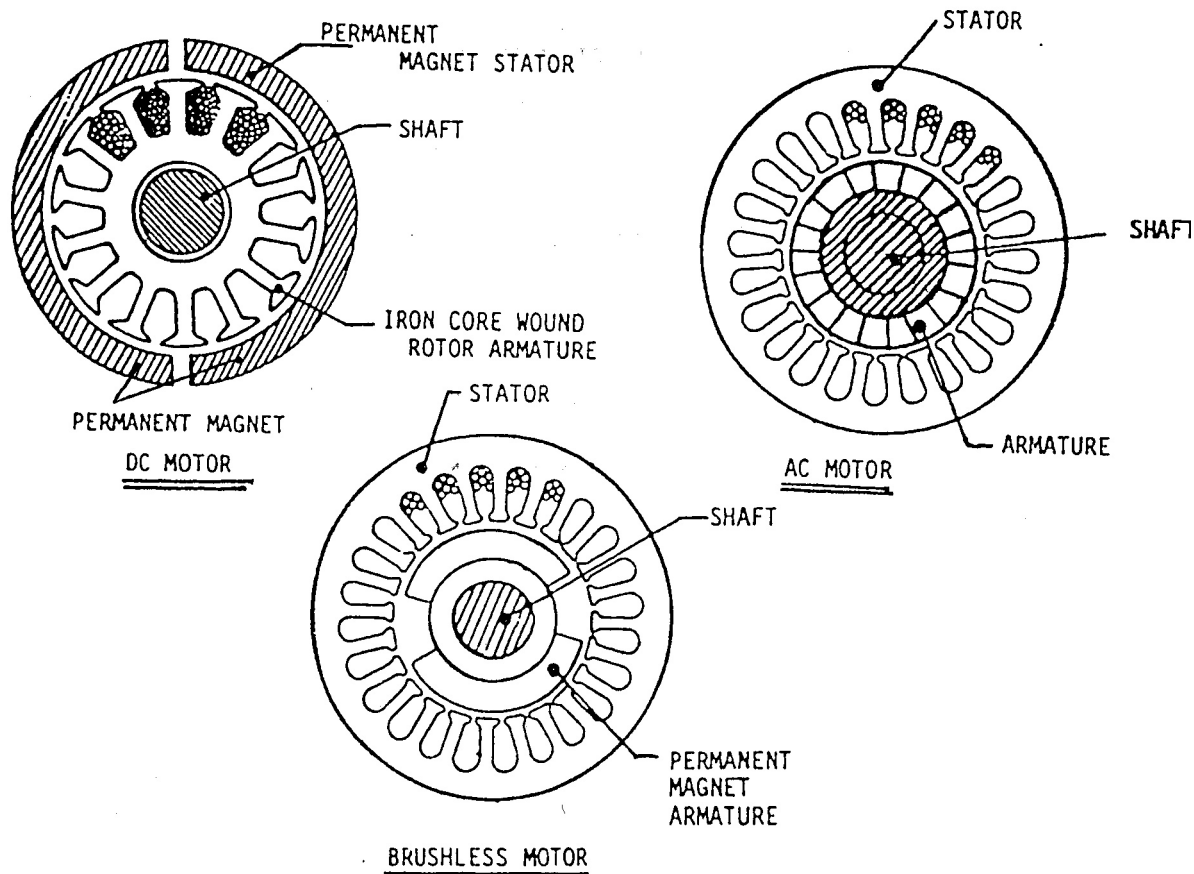
kde n ... ot. motoru

f ... frekvence ~U

p ... počet pólových párů

# Bezkartáčové motory s elektronickou komutací – BRUSHLESS MOTORS

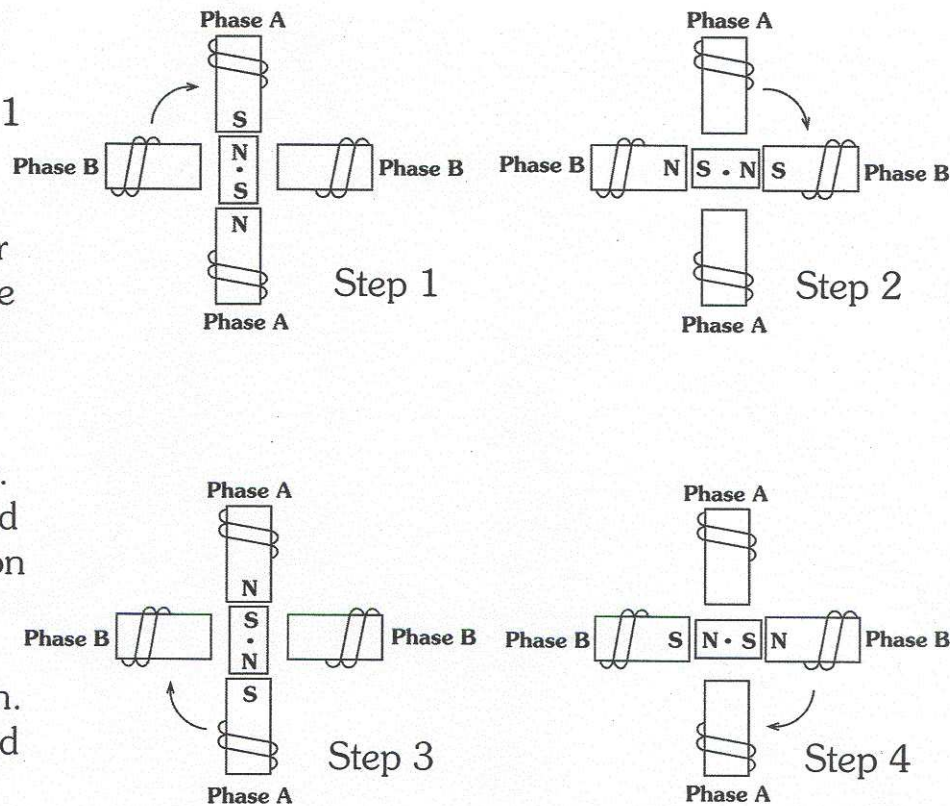
Porovnání principů konstrukce motorů ( příčný řez)



- Bezkartáčové motory s elektronickou komutací sjednocují výhody DC motorů s permanentním magnetem a klasických AC motorů

# Krokové motory

Figure 2 illustrates a typical step sequence for a two phase motor. In Step 1 phase A of a two phase stator is energized. This magnetically locks the rotor in the position shown, since unlike poles attract. When phase A is turned off and phase B is turned on, the rotor rotates 90° clockwise. In Step 3, phase B is turned off and phase A is turned on but with the polarity reversed from Step 1. This causes another 90° rotation. In Step 4, phase A is turned off and phase B is turned on, with polarity reversed from Step 2. Repeating this sequence causes the rotor to rotate clockwise in 90° steps.



**Figure 2.** "One phase on" stepping sequence for two phase motor.

# Krokové motory

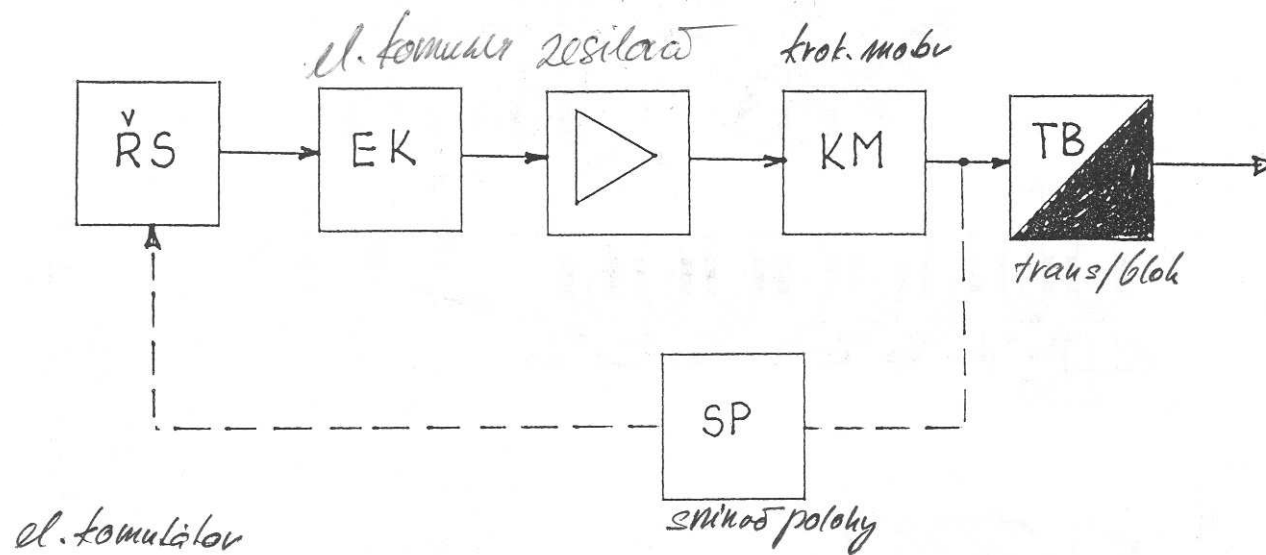
Aplikace krokových motorů v pohonech robotů je podmíněna vlastnostmi krokových motorů:

- a) nízké hodnoty momentů  $M_n = 0,2 - 10 \dots 15 \text{ Nm}$
- b) vysoká přesnost polohování ( $\sim 1$  krok)  $\varphi = 1,5 \div 9^\circ / \text{krok}$
- c) jednoduché propojení s číslicovým zařízením

Nevýhody:

- d) nesnese přetížení  $\sim$  jinak ztráta kroku.

Vzhledem ke svým výhodám může pracovat v otevřené regulační smyčce bez zpětné vazby.



# Krokové motory

Krokové motory mají jednoduchou vnitřní strukturu, kdy řídicí impulzy se přivádějí přímo na změnu polohy výstupku (rotoru) KM v přesně definovaném poměru k počtu pulzů. Krok je definován

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{p \cdot m \cdot \alpha} \quad \text{rad/krok} \quad \frac{180}{p \cdot m \cdot \alpha} \quad (^\circ/\text{krok})$$

Reverzace pohybu se provádí změnou sledu impulzů do jednotlivých fází a rychlost odpovídá frekvenci.

Frekvence kroků

$$f_k = f \cdot m \cdot \alpha \quad \text{kroků/s}$$

kde

p ... počet pólových dvojic,

m ... počet fází,

$\alpha$  ... součinitel tvaru pulzů (1 nebo 2)

f ... frekvence impulzů

# Krokové motory

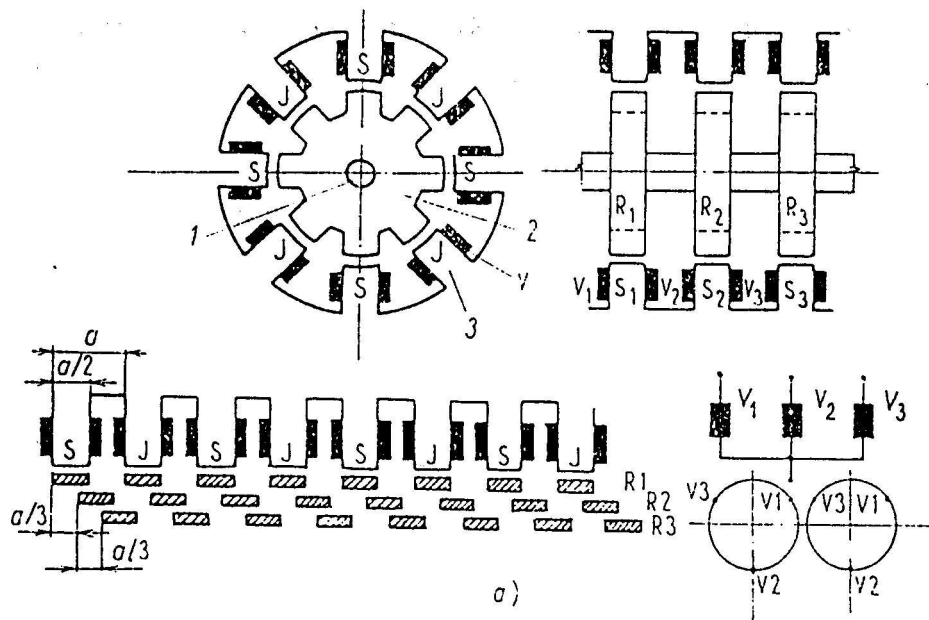
Počet kroků na 1 otáčku

$$s_k = \frac{2\pi}{\varphi_0} = 2pm\alpha \quad \text{kroků/ot}$$

Počet otáček

$$n = \frac{f_k}{s_k} = \frac{fm\alpha}{2pm\alpha} = \frac{f}{2p} = \frac{30f}{p} \quad \text{ot/min}$$

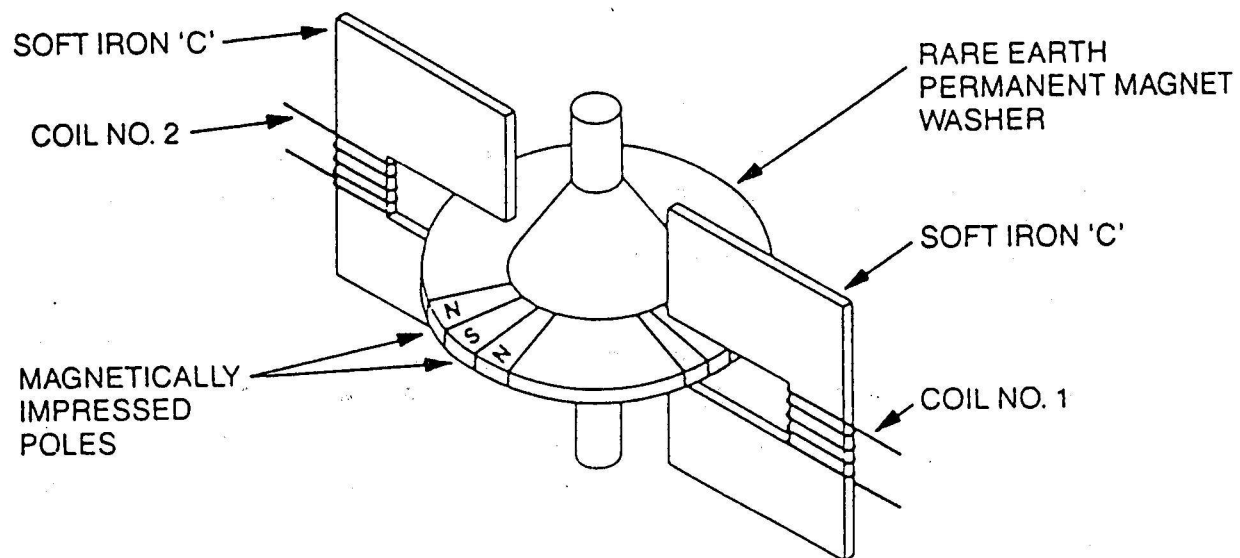
Princip činnosti vícefázového krokového motoru





# Krokový motor s diskovým uspořádáním rotoru

Konstrukce KM s diskovým uspořádáním rotoru

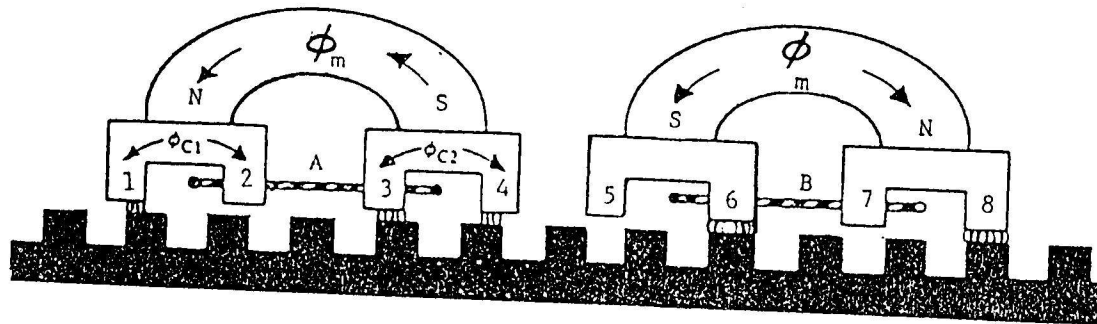


# Elektrické pohony – trendy vývoje

## Nejnovější trend vývoje

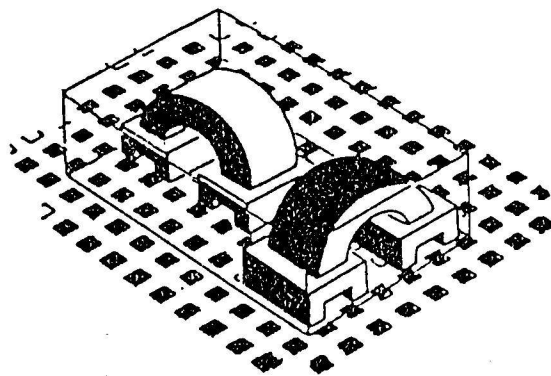
- a) nové typy AC motorů s elektronickou komutací
- b) lineární krokové motory
- c) planární krokové motory

## Princip činnosti dvoufázového lineárního motoru

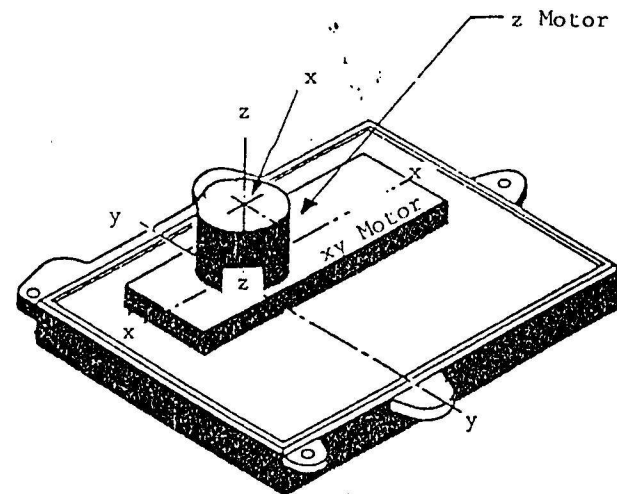


# Elektrické pohony – trendy vývoje

Planární krokový motor  
(tzv. Sawyerův motor)



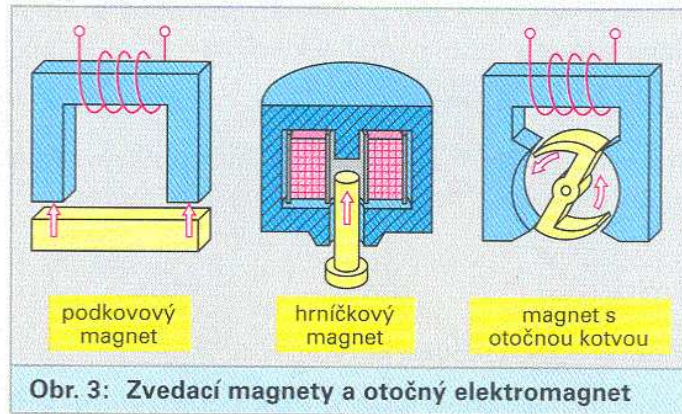
Prostorový pohyb realizovaný  
kombinací planárního a lineárního motoru



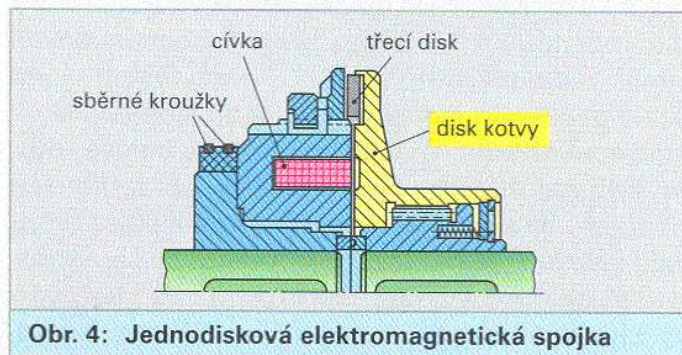
# DODATEK K ELEKTRICKÝM POHONŮM

{ 20 }

# Elektromagnety a elektromagnetické spojky



Obr. 3: Zvedací magnety a otočný elektromagnet



Obr. 4: Jednodisková elektromagnetická spojka

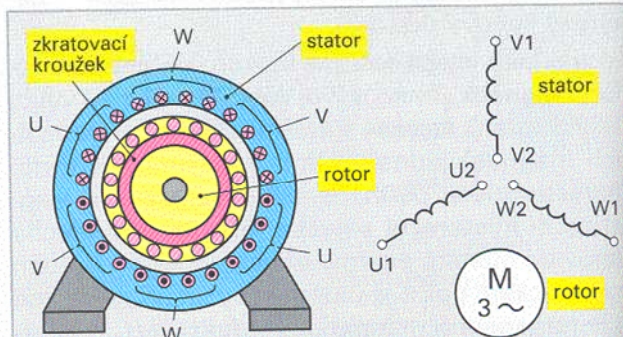
Elektromagnetické spojky jsou buďto **jednodiskové** (obr. 4), **lamelové**, s magnetickým práškem nebo **zubové**.

- Kotva elektromagnetu má snahu zaujmout polohu, při které má magnetický obvod nejmenší magnetický odpor

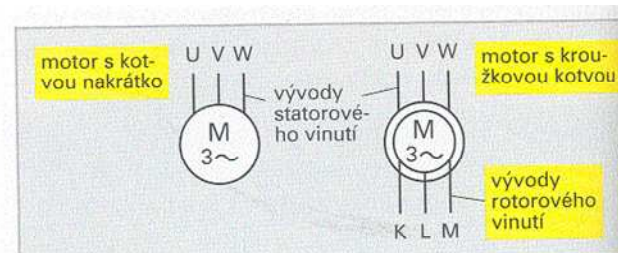
# Trojfázové motory



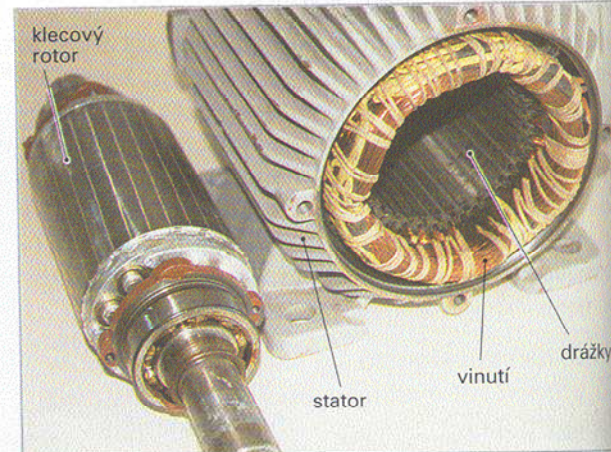
Obr. 1: Trojfázový asynchronní motor



Obr. 2: Trojfázový asynchronní motor

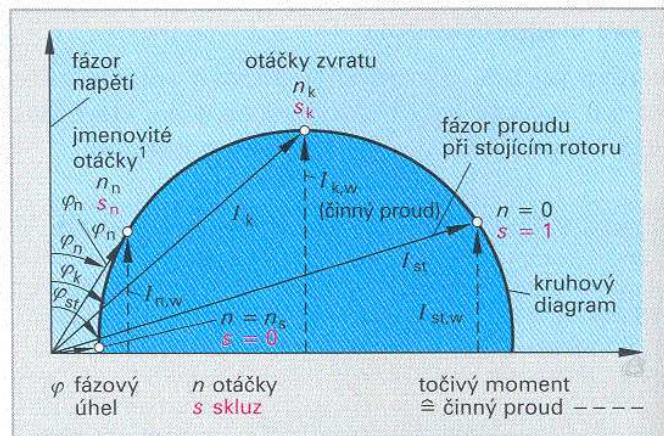


Obr. 3: Schematické značky

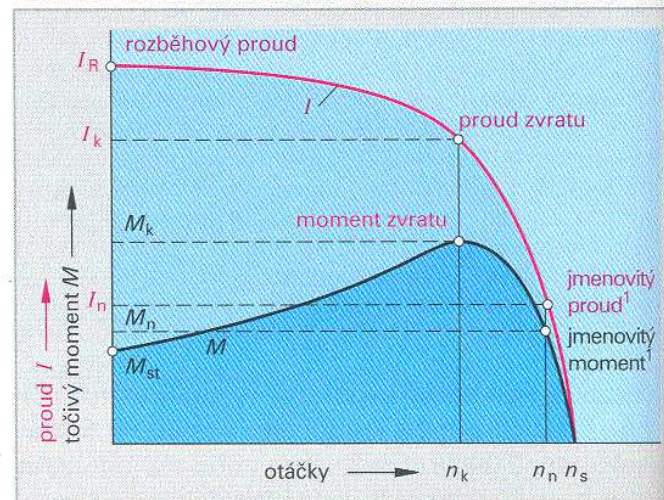


Obr. 4: Klecový rotor a stator asynchronního motoru

# Činnost trojfázového asynchronního motoru



Obr. 1: Fázory proudu a napětí statoru v závislosti na otáčkách rotoru



Obr. 2: Momentová a proudová charakteristika asynchronního motoru

Typické parametry asynchronních motorů	menší motor	větší motor
jmenovitý výkon	$P_n$ 1,1 kW	110 kW
synchronní otáčky	$n_s$ 3 000 min <sup>-1</sup>	3 000 min <sup>-1</sup>
jmenovité otáčky	$n_n$ 2 850 min <sup>-1</sup>	2 980 min <sup>-1</sup>
jmenovitý skluz	$s_n$ 5 %	0,6 %
skluz zvratu	$s_k$ ca. 20 %	ca. 10 %
účinnost	$\eta_n$ 77 %	95 %
jmenovitý moment	$M_n$ 3,7 Nm	353 Nm
moment zvratu	$M_k$ 2,3 · $M_n$	2,8 · $M_n$
moment setrvačnosti	$J$ 0,001 kgm <sup>2</sup>	1,3 kgm <sup>2</sup>
váha (hmotnost)	$m$ 9,9 kg	790 kg

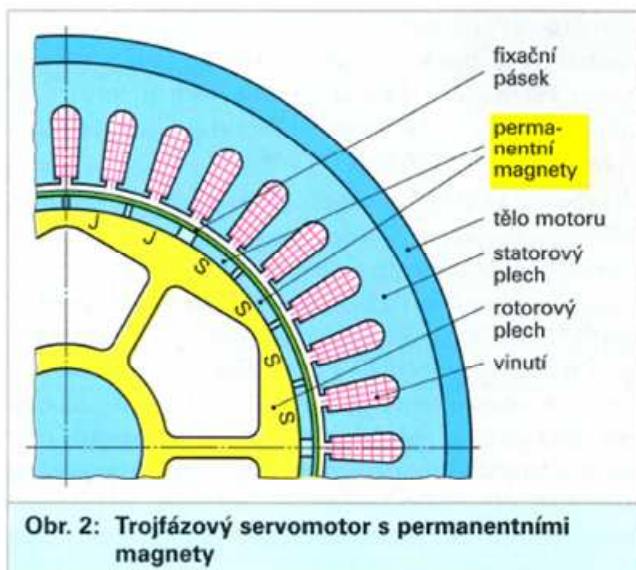
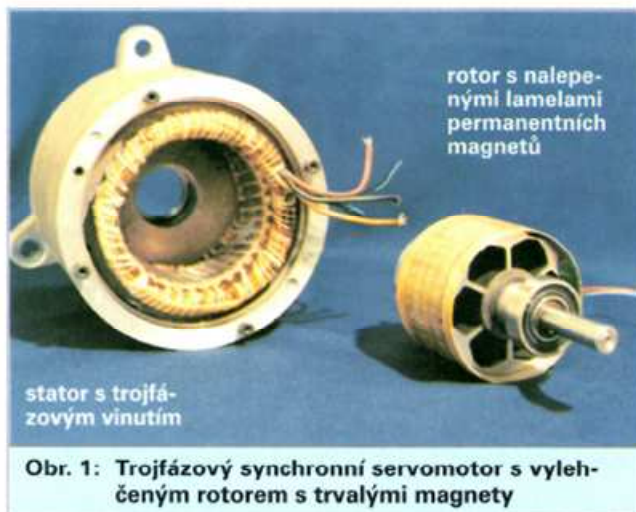
Pro momentovou charakteristiku platí rovnice:

- $M$  točivý moment
- $M_k$  moment zvratu
- $n$  otáčky
- $n_k$  otáčky zvratu
- $s$  skluz
- $s_k$  skluz zvratu

$$\frac{M}{M_k} \approx \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

$$s = 1 - \frac{n}{n_k}; s_k = 1 - \frac{n_k}{n_s}$$

# Trojfázový servomotor



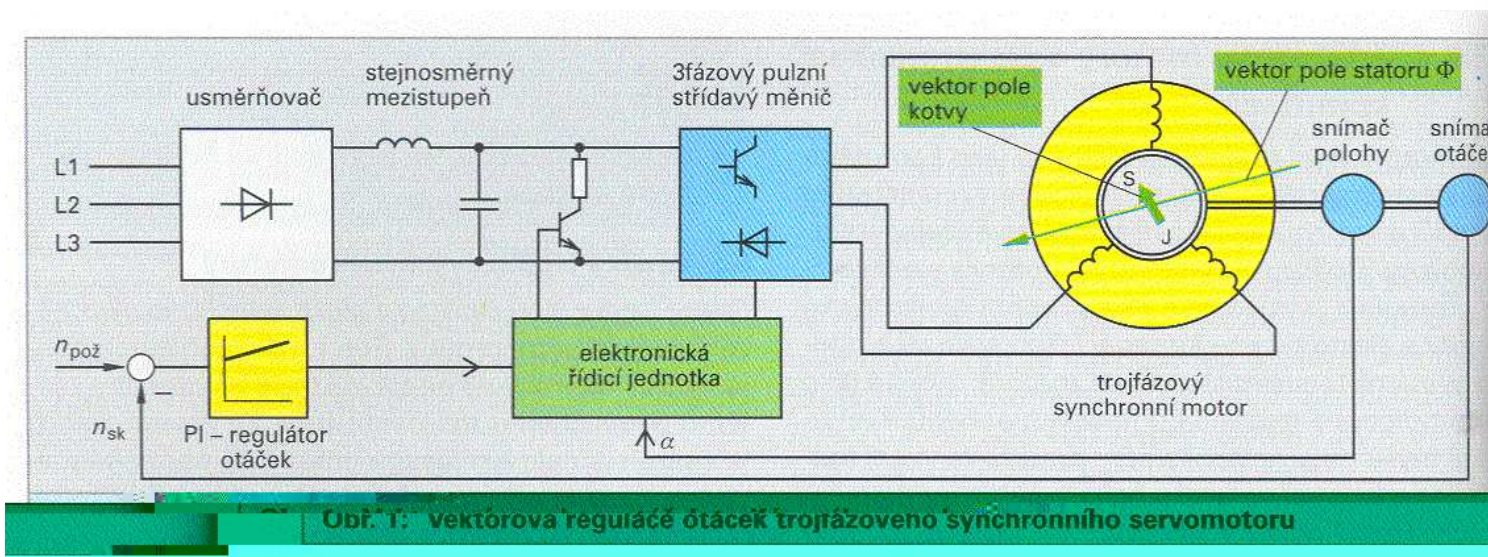
## Konstrukce trojfázových servomotorů

Stator i rotor jsou složeny z elektroplechů kvůli omezení ztrát vířivými proudy. Rotor má vylehčenou konstrukci s velkými dutinami, kvůli malé hmotnosti a malému setrvačnému momentu (obr. 1). Povrch rotoru je osazen lamelovými (segmentovými) permanentními magnety ze slitiny kobaltu a samaria (obr. 2). Samarium je prvek ze skupiny vzácných zemin. Magnety ve tvaru lamel síly 2 až 3 mm jsou nalepeny na svazku rotorových plechů a na koncích fixovány pásky ze sklené tkaniny. Statorové vinutí je uloženo v drážkách, které jsou sešikmeny (oproti podélnému směru) z důvodu rovnoměrného otáčení i při pomalých otáčkách, protože tyto motory jsou napájeny obdélníkovým (nikoliv sinusovým) proudem střídavého měniče s pulzní šířkovou modulací pro řízení točivého momentu a tím i výkonu. Otáčky jsou řízeny kmitočtem.

[SCHMIDT, Dietmar a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa-Sobotáles, 2005, 420 s. ISBN 80-86706-10-9]

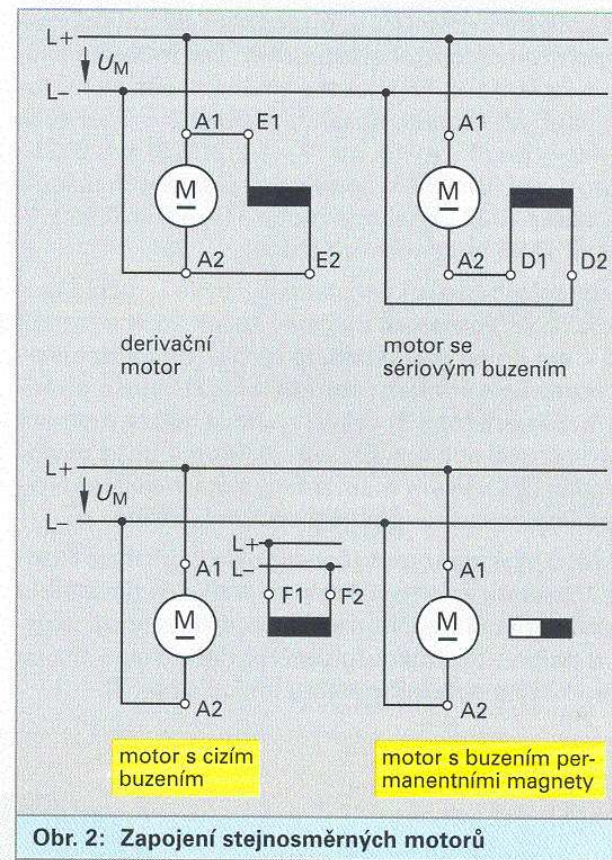
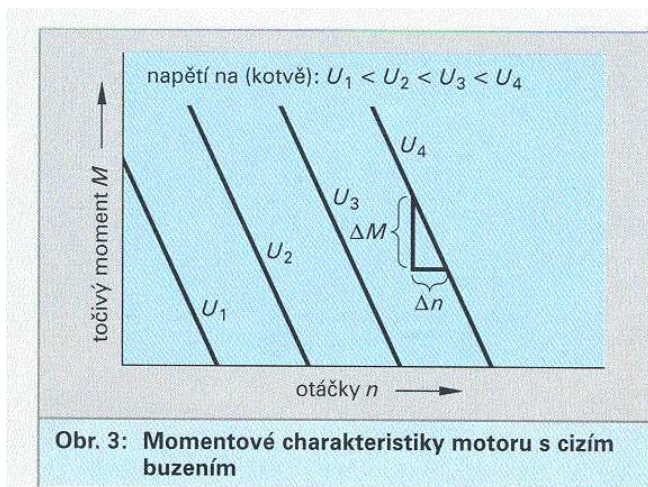
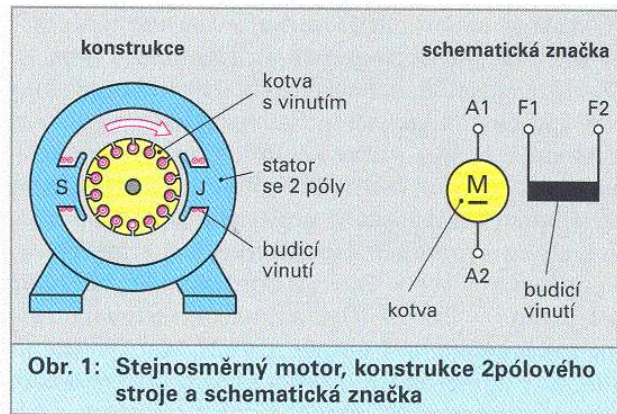


# Trojfázový servomotor

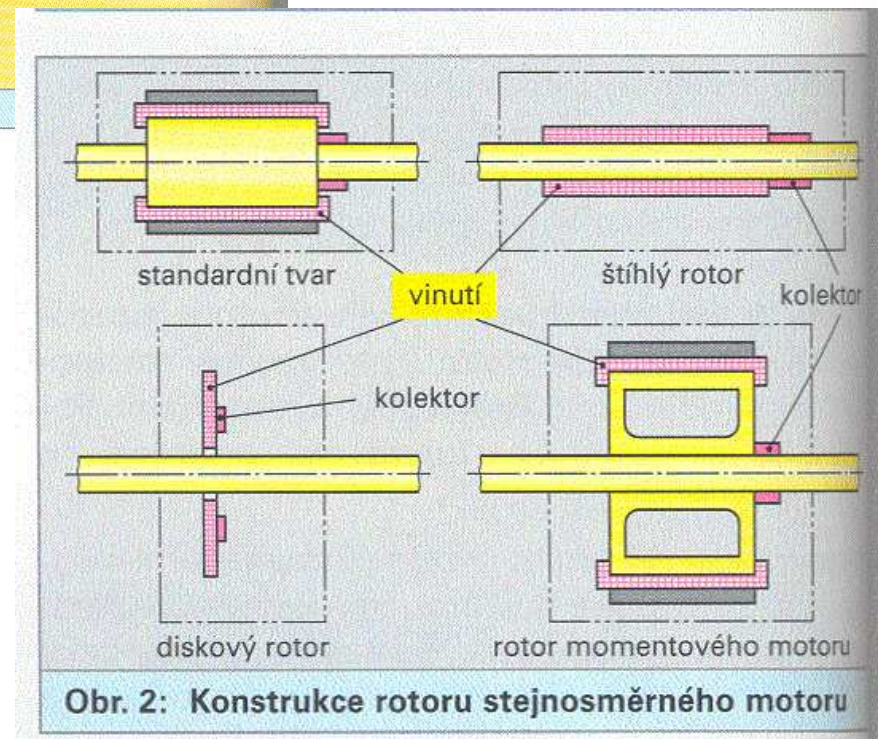
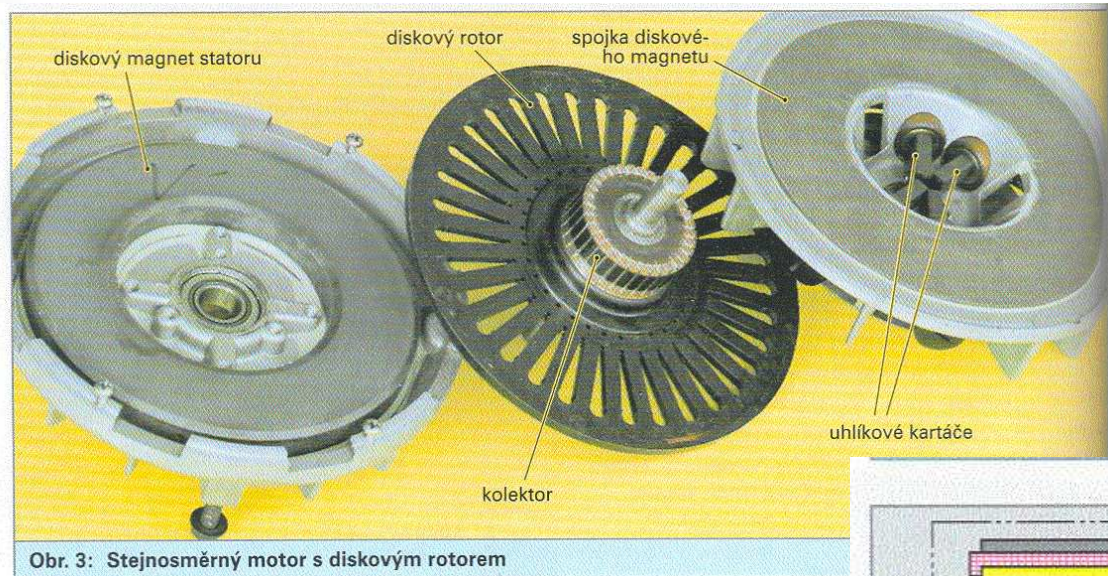


- Vektorová regulace otáček trojfázového synchronního servomotoru

# Stejnoseměrné motory

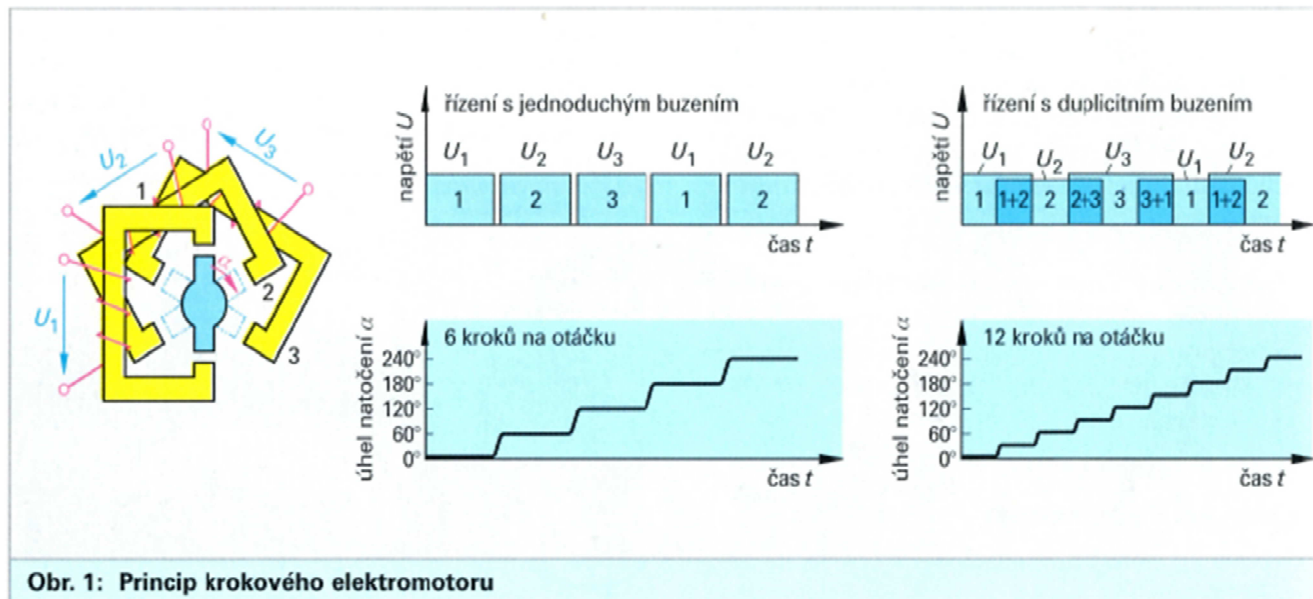


# Stejnoseměrné motory



[SCHMIDT, Dietmar a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa-Sobotáles, 2005, 420 s. ISBN 80-86706-10-9]

# Krokové motory



Obr. 1: Princip krokového elektromotoru

- Krokový motor se pootočí jedním řídicím impulsem o jeden úhlový krok